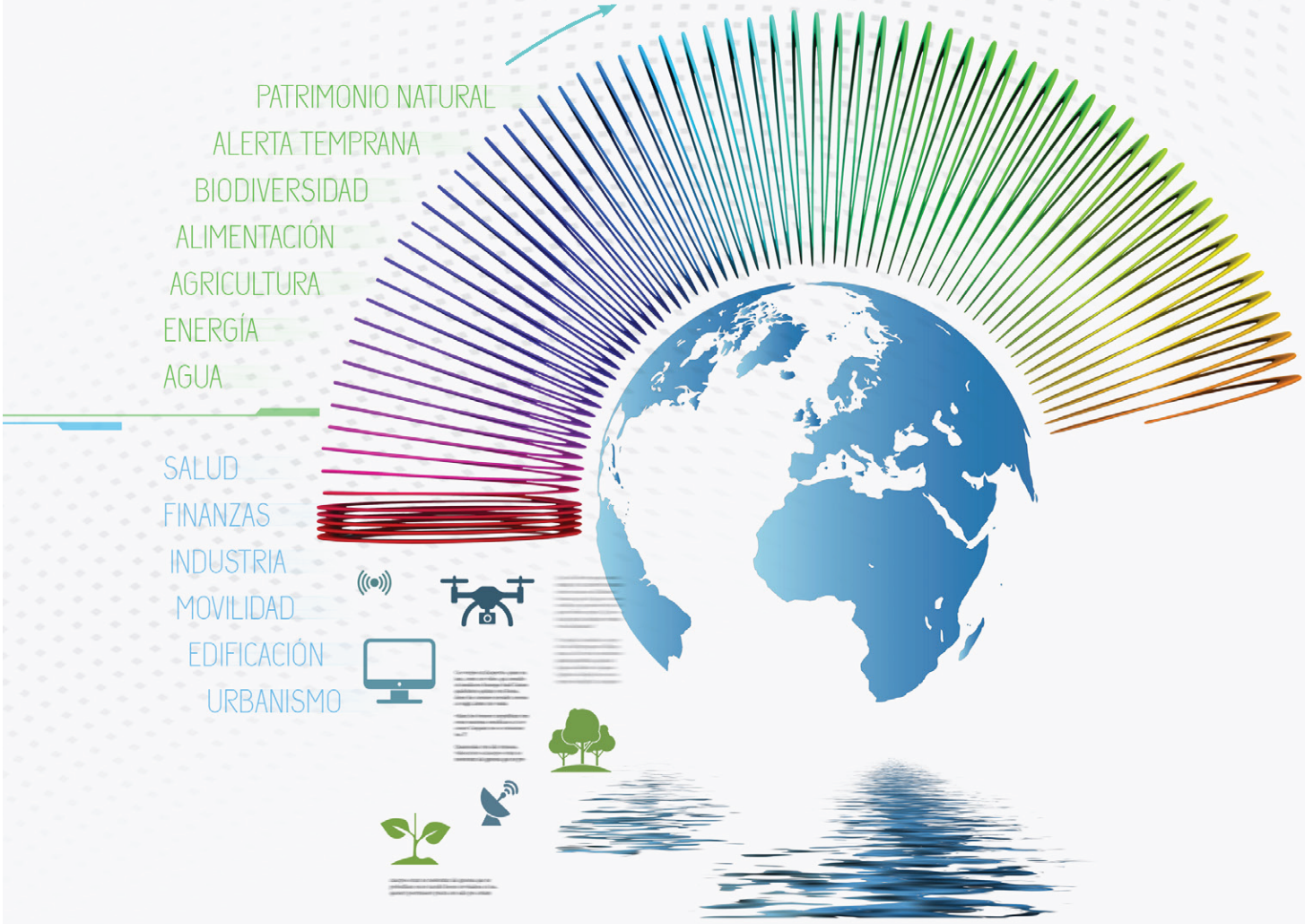
UN WATER
22 MARZO
DÍA MUNDIAL DEL AGUA



Identificación de tecnologías y soluciones innovadoras de adaptación al cambio climático

ESTUDIO AMBIENTAL | 2022

Canal de Isabel II

FUNDACIÓN CANAL
Canal de Isabel II

1 RESUMEN EJECUTIVO 5

2 INTRODUCCIÓN 7

3 DIAGNÓSTICO 11

3.1 Enfoque metodológico 11

3.2 Tecnologías y soluciones 14

3.3 Revisores externos 16

4 CARACTERIZACIÓN 19

4.1 Metodología 19

4.2 Tecnologías y soluciones seleccionadas 20

4.3 Caracterización de las tecnologías y soluciones seleccionadas 22
4.3.1 Alerta temprana 22
4.3.2 Agua 52
4.3.3 Salud 84
4.3.4 Agricultura, ganadería y alimentación 114
4.3.5 Urbanismo y edificación 135
4.3.6 Biodiversidad y patrimonio natural 164
4.3.7 Industria y Servicios 177
4.3.8 Energía 189
4.3.9 Transporte y movilidad 205
4.3.10 Sistema financiero y actividad aseguradora 213

5 ANEXOS 235

5.1 Relación completa de tecnologías y soluciones innovadoras 235

5.2 Equipo multidisciplinar del estudio 247

1 Resumen ejecutivo

Con el objetivo de divulgar conocimiento que promueva y facilite la adaptación al cambio climático, la Fundación Eurecat, por encargo y supervisión de la Fundación Canal y con la supervisión adicional de la subdirección de I+D+i de Canal de Isabel II, ha recopilado, seleccionado y caracterizado un conjunto de soluciones innovadoras de adaptación al cambio climático de aplicación multisectorial y relevantes para la Comunidad de Madrid.

Tras una revisión exhaustiva de diferentes bases de datos de iniciativas nacionales e internacionales para la adaptación al cambio climático y de literatura científica e informes sectoriales relacionados, se han identificado 127 soluciones innovadoras y relevantes en el contexto de la adaptación al cambio climático. El inventario de 127 soluciones cubre todos los sectores objeto del estudio: agua, agricultura y ganadería, salud, urbanismo y edificación, alerta temprana, biodiversidad y patrimonio natural, industria y servicios, transporte y movilidad, finanzas y aseguradoras, turismo y patrimonio cultural.

En cuanto a la tipología de soluciones, en este inventario, se han establecido o considerado las siguientes:

i) Basadas en la naturaleza[1], como los jardines de lluvia o los muros vegetales;

ii) Tecnologías de la información, como es el caso de los sistemas de alerta temprana de inundaciones o de propagación de enfermedades arbovirales.

iii) Soluciones tecnológicas, como la agrovoltaica o el uso de drones para la detección temprana de riesgo de desprendimientos.

iv) Tecnologías concretas, como la hoja biosolar o los drones para la prevención de incendios.

v) Estrategias de gestión, como el uso de fondos de prevención para mitigar el efecto de inundaciones.

Este conjunto de soluciones es una muestra de la diversidad de los recursos disponibles para afrontar el reto de la adaptación al cambio climático en prácticamente todos los sectores. La mayor parte de las soluciones identificadas contribuyen a la adaptación a los efectos producidos por la subida de temperaturas, aumento en la intensidad y frecuencia de inundaciones e incremento del estrés hídrico. Estos son tres de los principales riesgos a los que está sometido el interior peninsular. De este modo, hay que destacar el papel del agua, y del sector económico asociado, como principal afectado por el cambio climático y elemento vertebrador de gran parte de soluciones de adaptación. Muchas de las soluciones aplicables al sector del agua, como pueden ser la construcción de humedales artificiales, la instalación de sistemas de drenaje urbano o la reutilización de agua para la limpieza de calles, tienen un efecto directo no solo sobre el ahorro de agua, si no también sobre el urbanismo, la biodiversidad en zonas urbanas e incluso el sector asegurador. Del mismo modo, más de la mitad de las soluciones identificadas para la adaptación al cambio climático en otros sectores están relacionadas con el agua o implican una mejor gestión de esta. Una vez más, se constata el papel intersectorial que representa el sector del agua en el ámbito de la adaptación al cambio climático.

[1] Las soluciones basadas en la naturaleza son aquellas que se inspiran y apoyan en la naturaleza, que son rentables, proporcionan simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos y ayudan a crear resiliencia. Tales soluciones aportan más y más diversa naturaleza y características y procesos naturales a las ciudades, los paisajes terrestres y marinos, a través de intervenciones adaptadas localmente, eficientes en recursos y sistémicas. (Comisión Europea).

De las 127 soluciones identificadas, 54 han sido seleccionadas por su relevancia en un contexto intersectorial de adaptación al cambio climático en la Comunidad de Madrid. Esta selección ha sido posible gracias al diseño y aplicación de un indicador de relevancia para la adaptación al cambio climático, alimentado con el criterio de un grupo externo de expertos, y el propio criterio de los expertos de la Fundación Canal y Canal de Isabel II. Este indicador ha tenido en cuenta factores como el potencial de adaptación, su aplicabilidad en múltiples sectores y los niveles de innovación y madurez de cada solución. De cada una de las 54 soluciones destacadas se ha generado una ficha técnica para profundizar en la información aportada, ayudar al lector a evaluar la solución de cara a una posible implantación y guiarle hacia fuentes donde ampliar conocimiento sobre la misma. Dentro de cada ficha se incluye una descripción de la solución y de su funcionamiento, una evaluación de la aplicabilidad de la solución, una estimación de orden de magnitud de los costes asociados, y se aportan además ejemplos de su aplicación en casos reales.

Algunas de las soluciones destacadas son:

- En el ámbito de la alerta temprana, destacan los sistemas para la detección de inundaciones, precipitaciones extremas o desprendimientos de tierra, cuya implantación es fundamental para prevenir potenciales pérdidas humanas o de infraestructura debido al aumento de eventos meteorológicos extremos. También los sistemas de detección de enfermedades infecciosas.

- En el sector del agua destacan la utilización de agua regenerada para usos compatibles (baldeo de calles, uso industrial riego de zonas verdes), así como las soluciones basadas en la naturaleza pensadas para mejorar la gestión de las aguas en medio urbano, como los jardines de lluvia o los humedales artificiales para el tratamiento de excesos de escorrentía.

- En lo referente al sector salud destaca el uso de modelos y sistemas de monitorización para la predicción de condiciones derivadas del cambio climático que puedan afectar a la salud, como son temperaturas extremas, contaminación elevada o brotes de arbovirus.

- En el sector agrícola, destaca la tecnificación del sector, con la compatibilización del uso agrario del suelo con producción energética, como es el caso de los sistemas agrovoltaicos, o la agricultura inteligente, que combina sensores, tratamiento de datos y sistemas de soporte a la decisión para aumentar la productividad de los cultivos.

- En el sector urbanístico y de edificación destacan las soluciones de gestión del agua, como la implantación de pavimentos drenantes y la generación de espacios urbanos inundables, así como la adaptación de las edificaciones al aumento de las temperaturas, con la implantación de paneles aislantes hechos de micelio o la instalación de sistemas pasivos de refrigeración como las torres de captación de viento.

En general, destacan soluciones que ponen en valor estrategias tradicionales, sobre todo en el ámbito de la edificación, la agricultura y la conservación del patrimonio natural; el uso de las tecnologías de información y de modelos predictivos, sobre todo en el contexto de alerta temprana y mejora de la toma de decisiones; así como la implantación de nuevas tecnologías cada vez más accesibles, como el uso de drones o de sensores de bajo coste.

Con esta publicación, la Fundación Canal proporciona un documento de divulgación y consulta para administraciones locales y regionales, operadores de agua y otras entidades vinculadas al ciclo integral del agua, y, en general, para empresas y particulares interesados en descubrir soluciones innovadoras de adaptación al cambio climático.

No es el objeto de este documento el dar una visión exhaustiva de las soluciones planteadas, sino más bien una visión general de las múltiples opciones ya disponibles en el mercado y facilitar la información necesaria para que el lector pueda profundizar en aquellas de mayor interés conforme sus necesidades. Y con todo ello pudiendo tomar parte del reto que supone para nuestra sociedad la adaptación a los efectos inevitables del cambio climático.

2 Introducción

Los efectos del cambio climático son cada vez más patentes, y su tendencia es en aumento, incluso en los escenarios más optimistas de reducción de emisiones. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) estima que se superarán los escenarios de aumento global de 1,5ºC y 2ºC durante el siglo XXI, a menos que se produzcan reducciones profundas de emisiones de CO_2 y otras emisiones de gases de efecto invernadero, siendo este aumento generalmente mayor en zonas continentales[2]. Este, aparentemente pequeño, aumento de la temperatura global está generando, entre otros, un aumento a escala planetaria en la frecuencia y magnitud de eventos meteorológicos extremos como olas de calor, sequias y lluvias torrenciales; un aumento del nivel del mar de entre 0,28 y 0,76 m a lo largo del siglo XXI; y la reducción de biodiversidad, entre muchos otros.

En España el aumento de las temperaturas máximas se prevé incluso mayor, de entre 2ºC y 6,4ºC, siendo este aumento mayor en el interior y menor en el norte y noroeste de la península[3]. Esto resultará en un aumento en la frecuencia y duración de olas de calor. Además, se prevé que las precipitaciones disminuyan de forma generalizada. El aumento de temperaturas y disminución de precipitaciones tendrá como resultado un aumento en la frecuencia y duración de las sequías, una disminución en la recarga de los acuíferos y del caudal de los ríos, lo que afectará directamente a la disponibilidad de los recursos hídricos. El agua es el vector de transmisión de toda una cascada de impactos que afectan a cada ámbito de los sistemas humanos y naturales[4].

El informe del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de 2021 sobre "Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España" analiza los impactos más importantes que sufrirán el medio ambiente, la sociedad y prácticamente todos los sectores de nuestra economía.

Con respecto al impacto del cambio climático en la naturaleza, en los ecosistemas terrestres las especies arbóreas verán alteradas sus ciclos de caída de la hoja y floración, y su distribución espacial cambiará para adaptarse a las nuevas condiciones de temperatura y disponibilidad de recursos hídricos. Por otro lado, el aumento de incendios forestales también reducirá la extensión de bosques y expondrá el suelo a una mayor erosión. En los ecosistemas marinos, por su parte, se observan ya cambios en la distribución de especies de fauna y flora marina, y una disminución del potencial pesquero.

Los diferentes sectores de la economía en nuestro país también se verán afectados. Por un lado, el sector agrícola sufrirá de primera mano los cambios en los patrones de lluvia y de temperaturas. Habrá un descenso de la producción agrícola, sobre todo de secano, herbáceos y leñosos. El sector energético también sufrirá los efectos del cambio climático, sobre todo la producción de energía hidroeléctrica que se verá limitada por el menor aporte de agua de los ríos. Las precipitaciones torrenciales, que generan una mayor incidencia de deslizamientos de tierra, impactarán directamente sobre las infraestructuras de transporte. Por otro lado, el turismo también puede verse afectado. En las zonas costeras el aumento del nivel del mar afectará poblaciones costeras, donde las inundaciones aumentarán en frecuencia e intensidad.

[2] IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.

[3] MITECO (2021). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España.*

[4] United Nations. (2010). Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water. *Ginebra, Suiza*, *01*, 18.

Además, el aumento de olas de calor en la zona sur peninsular puede hacer que cambien las preferencias de los turistas con respecto al destino o la época. Por otro lado, en el sector del deporte de invierno, el aumento de las cotas de nieve afectará a las estaciones de esquí, que verán comprometida la gestión del dominio esquiable por las menores precipitaciones en forma de nieve y por la dificultad de su mantenimiento.

El cambio climático también supone un riesgo para la salud pública. En España las altas temperaturas y las inundaciones son los riesgos derivados del cambio climático que más ponen en riesgo nuestra salud. Otro riesgo emergente es el aumento de las enfermedades transmitidas por vectores como garrapatas y mosquitos.

El conjunto y complejidad de efectos negativos derivados del cambio climático, así como su tendencia negativa incluso en los mejores escenarios, hace que la adaptación a estos riesgos ineludibles sea necesaria para prevenir el deterioro de nuestra sociedad, medio ambiente y sistemas productivos durante las próximas décadas. Así lo contempla el "Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021 – 2030" (PNACC)[5], que define la adaptación al cambio climático como "el proceso de ajuste al clima actual o esperado y a sus efectos". Según el PNACC, la adaptación debería incluir el conjunto de estrategias orientadas a evitar o reducir los impactos potenciales derivados del cambio climático, así como a favorecer una mejor preparación para la recuperación tras los daños.

La adaptación al cambio climático no es sólo una gran necesidad, sino también un gran reto. Por parte de las instituciones, la priorización en los tipos de actuaciones para minimizar los costes garantizando la máxima eficacia de las medidas implementadas, no es una tarea fácil de abordar. Se necesita información y estudios para evaluar los costes de las actuaciones y las sinergias entre sectores y acciones de adaptación. Además de la necesidad de implementar estrategias coordinadas por parte las instituciones, la adaptación debe abordarse también desde la ciudadanía. Esto requiere una labor de concienciación, divulgación y transferencia de conocimiento sobre medidas de adaptación.

La adaptación al cambio climático requiere de soluciones innovadoras y eficaces. En los últimos 20 años el número de patentes tecnológicas relacionadas con la adaptación al cambio climático ha aumentado de forma estable. Sin embargo, casi el 50% de este desarrollo está concentrado en Estados Unidos, Japón y Alemania[6]. Por esta razón, es necesaria en España una labor de diseminación y transferencia de tecnologías innovadoras para la adaptación.

La Fundación Canal tiene como misión mejorar las oportunidades de acceso al conocimiento relacionado con el medio ambiente y la innovación, siendo uno de sus principales objetivos la divulgación sobre soluciones al cambio climático, considerando el agua su eje central. Una de las herramientas que la Fundación Canal tiene para facilitar la diseminación y transferencia de conocimiento es la generación de publicaciones científico-técnicas.

En este contexto, la Fundación Canal publicó en febrero de 2021 una licitación para la contratación de "Servicios de Identificación de tecnologías y soluciones innovadoras de adaptación al cambio climático", con el objetivo de "empujar a la acción" en materia de adaptación al cambio climático. La licitación hace énfasis en la necesidad de optimizar la inversión que será necesaria para adaptarnos a los efectos ineludibles del cambio climático. Para poder invertir los recursos de forma óptima y poder maximizar la adaptación, es necesario contar con información actualizada y contrastada sobre las soluciones de adaptación al cambio climático disponibles, su efectividad y aplicabilidad.

De este modo, el objetivo principal de esta publicación es la divulgación de conocimiento que facilite una mejor adaptación a los impactos inevitables del cambio climático, promoviendo una

[5] MITECO. (2021). Plan nacional de adaptación al cambio climático 2021 - 2030.

[6] Echezleprêtre, A., Fankhauser, S., J, M. G., & Simon, S. (2020). Invention and Global Diffusion of Technologies for Climate Change Adaptation: A Patent Analysis. *International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank*.

sociedad más resiliente al clima. Para ello, el presente documento contiene una recopilación y caracterización de soluciones innovadoras de adaptación al cambio climático aplicables a diferentes sectores:

- Agua
- Agricultura y ganadería
- Salud
- Urbanismo y edificación
- Alerta temprana
- Biodiversidad y patrimonio natural
- Industria y servicios
- Transporte y movilidad
- Finanzas y aseguradoras
- Turismo y patrimonio cultural

El estudio que ha dado como resultado esta compilación se ha dividido en dos fases, reflejadas también en la estructura del documento.

- La primera fase, ha consistido en la identificación exhaustiva de soluciones de adaptación al cambio climático, innovadoras, inteligentes, inmediatas y sistémicas. El resultado de esta primera fase es un inventario de soluciones de adaptación al cambio climático, que ofrece una visión global y multisectorial del estado de la innovación en la adaptación al cambio climático, y de la tipología de soluciones disponibles.
- En una segunda fase, y con la ayuda de expertos en cada uno de los sectores, se han evaluado todas las soluciones identificadas, seleccionando aquellas que, por su nivel de madurez tecnológica, efectividad y nivel de impacto se han considerado de gran relevancia para la adaptación al cambio climático en el contexto de la Comunidad de Madrid. Para cada una de las soluciones seleccionadas se han generado fichas técnicas con información relevante para su conocimiento e implementación.

3 Diagnóstico

3.1 Enfoque metodológico

La primera fase del estudio ha consistido en la identificación exhaustiva de soluciones de adaptación al cambio climático por parte de un grupo de expertos multidisciplinar. Este grupo de expertos lo conforman 11 investigadores especializados en investigación y divulgación de proyectos en el ámbito de la adaptación y mitigación del cambio climático (se incluye una breve biografía de cada uno en el Anexo 5.2):

- Aitor Corchero Rodríguez
- Dr. Carles Ibáñez Martí
- Dr. Carmen Torres Costa
- Eloy Hernández Busto
- Irene Ràfols Ribas
- Dr. Laura del Val Alonso
- Mireia Pla Castellana
- Nil Álvarez Segura
- Dr. Queralt Plana Puig
- Prof. Xavier Rodo
- Dr. Xavier Martínez Lladó

Asimismo, el equipo Canal de Isabel II y de la Fundación Canal han prestado asesoramiento técnico tanto en la fase de identificación de soluciones innovadoras como en el posterior desarrollo de estas, y realizado labores de edición hasta la obtención del presente informe.

Durante el estudio se han consultado fuentes de datos de diferente naturaleza: bases de datos de proyectos de I+D, informes sectoriales, literatura científica y publicaciones generalistas, considerando solo las soluciones que cumplían con una serie de requisitos preestablecidos.

La Tabla 1 muestras algunas de las fuentes de información consultadas que recopilan soluciones y tecnologías de adaptación al cambio climático bajo el marco de diferentes iniciativas internacionales.

Tabla 1. Bases de datos sobre iniciativas y proyectos de adaptación al cambio climático consultadas.

Organización responsable	Nombre de la iniciativa	Descripción de la fuente de información
EEA - Agencia Europea de Medio Ambiente	*Climate-ADAPT - European Climate Adaptation Platform*	*Climate-ADAPT*, es una base de datos sobre proyectos, agentes, iniciativas, organizaciones, publicaciones y herramientas relacionadas con la adaptación al cambio climático.
EPA - Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos	Centro de Recursos para la Adaptación (ARC-X)	El ARC-X es un recurso interactivo para ayudar a las administraciones locales a prestar servicios de forma eficaz bajo los efectos del cambio climático.
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); Organización de las Naciones Unidas	*UN Climate Technology Centre & Network*	El CTCN es el centro que promueve la transferencia acelerada de tecnologías de adaptación al cambio climático (y mitigación de este).

Organización responsable	Nombre de la iniciativa	Descripción de la fuente de información
para el Desarrollo Industrial (ONUDI)		
Adaptation Fund	*Adaptation Fund projects database*	El Fondo de Adaptación financia proyectos y programas que ayudan a las comunidades vulnerables de los países en desarrollo a adaptarse al cambio climático. En su página web, facilita un inventario de proyectos e iniciativas de adaptación financiadas por el fondo por todo el mundo.
GCF - Green Climate Fund	Inventario de proyectos de adaptación al cambio climático	El GCF es un gran fondo dedicado a ayudar a combatir el cambio climático. En su base de datos de proyectos, se pueden encontrar iniciativas de adaptación financiadas por el fondo en todo el mundo.
GEF - Global Environmental Facility	Inventario de proyectos del GEF	El Fondo para el Medio Ambiente Mundial se creó en vísperas de la Cumbre de la Tierra de Río (1992) para hacer frente a los problemas medioambientales más acuciantes de nuestro planeta. Desde entonces, ha proporcionado más de 21.700 millones de dólares en subvenciones y ha movilizado otros 119.000 millones de dólares en cofinanciación para más de 5.000 proyectos y programas.
Ministerio Federal de Medio Ambiente, conservación de la naturaleza y seguridad nuclear de Alemania	IKI – Iniciativa Internacional para el Clima	El mapa de proyectos facilita acceso a todos los proyectos de adaptación al cambio climático financiados por esta iniciativa en el mundo.
Agencia de Cooperación Internacional Alemana (GIZ); Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)	PANORAMA - Ecosystem-based adaptation solutions database	Iniciativa de colaboración para documentar y promover ejemplos de soluciones inspiradoras y reproducibles en una serie de temas de conservación y desarrollo sostenible, permitiendo el aprendizaje y la inspiración intersectoriales. A través de su base de datos se pueden encontrar iniciativas y proyectos de adaptación al cambio climático.
Comisión Europea	*OPPLA - EU Repository of Nature-Based Solutions*	Oppla es el repositorio europeo de soluciones basadas en la naturaleza. Más de 60 universidades, institutos de investigación, organismos y empresas contribuyen a Oppla en el marco de una actividad financiada por el Programa FP7 de la Comisión Europea.
Carbon Disclosure Project - Disclosure Insight Action	Base de datos de estados, compañías privadas y ciudades implementando acciones de adaptación al cambio climático	CDP es una organización benéfica sin ánimo de lucro que gestiona, entre otros, un sistema global de divulgación sobre acciones de adaptación al cambio climático, para que los inversores, las empresas, las ciudades, los estados y las regiones gestionen su impacto medioambiental.
NATURVATION - NATure-based URban innoVATION	*Urban Nature Atlas*	Inventario con más de 1.000 soluciones basadas en la naturaleza de ciudades europeas y de otros países.
Universidad de Oxford	*Nature based solutions Initiative - case studies*	Iniciativa compuesta por un equipo internacional e interdisciplinar de científicos ambientales y sociales. El inventario de casos de estudio ofrece ejemplos de soluciones de adaptación al cambio climático en diferentes partes del mundo.
Universidad de Columbia	*Urban Climate Change Research Network* - UCCRN base de datos de casos de estudio	La Red de Investigación sobre el Cambio Climático Urbano (UCCRN) es un consorcio mundial de más de 1.000 personas de más de 150 ciudades dedicadas al análisis de la mitigación y adaptación al cambio climático desde una perspectiva urbana. La base de datos de estudios abarca muchas ciudades del mundo.
Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)	AdapteCCa - Plataforma de Adaptación al	Inventario de casos prácticos de adaptación al cambio climático en España. Base de datos muy completa donde se pueden realizar búsquedas tanto por sectores, como por impactos climáticos e incluso

Organización responsable	Nombre de la iniciativa	Descripción de la fuente de información
	Cambio Climático en España	medidas de adaptación puestas en práctica, así como por palabras clave. También se puede visualizar la ubicación geográfica de las medidas de adaptación puestas en práctica.
Ayuntamiento de Madrid	Soluciones propuestas para la adaptación al cambio climático	Base de datos de soluciones propuestas por el ayuntamiento de Madrid para la adaptación al cambio climático.
AEAS - Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento	Archivo online	La Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS) es la asociación profesional de referencia en el sector del agua urbana en España. En su página se pueden encontrar informes del sector e inventario de soluciones innovadoras en el ámbito de abastecimiento y saneamiento de agua, muchas de ellas en línea con la adaptación al cambio climático.

Durante la revisión de las diferentes fuentes de información, se han empleado una serie de criterios para decidir si una solución o tecnología era relevante para el estudio, y por lo tanto para ser considerada en el inventario de soluciones identificadas. Los criterios han sido los siguientes:

- Las soluciones/tecnologías de adaptación al cambio climático consideradas deben tener un nivel de desarrollo tecnológico alto que permita su implementación de la forma más inmediata posible.
- Las soluciones/tecnologías deben ser innovadoras.
- Las soluciones/tecnologías deben de ser, en la medida de lo posible, aplicables y relevantes en el contexto de la Comunidad de Madrid.

Además de los criterios para la selección de cada solución de forma individual, el inventario resultante de esta labor de revisión debe cumplir con otros dos requisitos:

- El inventario resultante en su conjunto debe ser representativo de los principales conjuntos de soluciones de adaptación al cambio climático para cada uno de los sectores.
- El inventario debe considerar diferentes tipos de soluciones para cada sector. Así hemos definido cinco tipos de soluciones: Soluciones basadas en la naturaleza, soluciones tecnológicas, tecnologías concretas, soluciones de tecnologías de información y estrategias o soluciones de gobernanza.

El conjunto de soluciones identificadas se ha recopilado en un inventario en el que se ha incluido información básica sobre cada una de ellas. Esta información incluye:

- Sectores para los que es relevante la solución.
- Tipología de la solución.
- Efectos del cambio climático a los que ayudaría la adaptación.
- País o países donde se ha desarrollado o testado.
- Descripción básica de su funcionamiento.
- Estimación de orden de magnitud de costes.
- Relevancia con respecto a la adaptación al cambio climático.
- Descripción de su nivel de innovación.
- Fuentes consultadas.

3.2 Tecnologías y soluciones

Como resultado de la revisión de bases de datos y literatura, se han identificado 127 soluciones de adaptación al cambio climático (Anexo 5.1).

Cada una de las soluciones se han asociado a un sector o área de conocimiento principal. Sin embargo, la mayor parte de ellas son aplicables a varios de ellos. Dado que se ha priorizado la identificación de soluciones aplicables a los sectores de agua, agricultura y ganadería, alerta temprana, salud, y urbanismo y edificación, el 75% de las soluciones identificadas pertenecen a estos sectores.

Otro dato importante, para entender la multisectorialidad de las soluciones, son los sectores que se han identificado como secundarios para cada solución. Estos son sectores que se ven afectados (positivamente) o involucrados en la implementación de la solución, de forma directa o indirecta. Los sectores secundarios que más se repiten son, en primer lugar, el agua y en segundo lugar el de urbanismo y edificación. Esto implica que la mayor parte de las soluciones de adaptación identificadas son aplicables a o implican la gestión del agua. Lo mismo ocurre con el sector urbanístico y de edificación. Ambos sectores son estratégicos para la adaptación intersectorial al cambio climático.

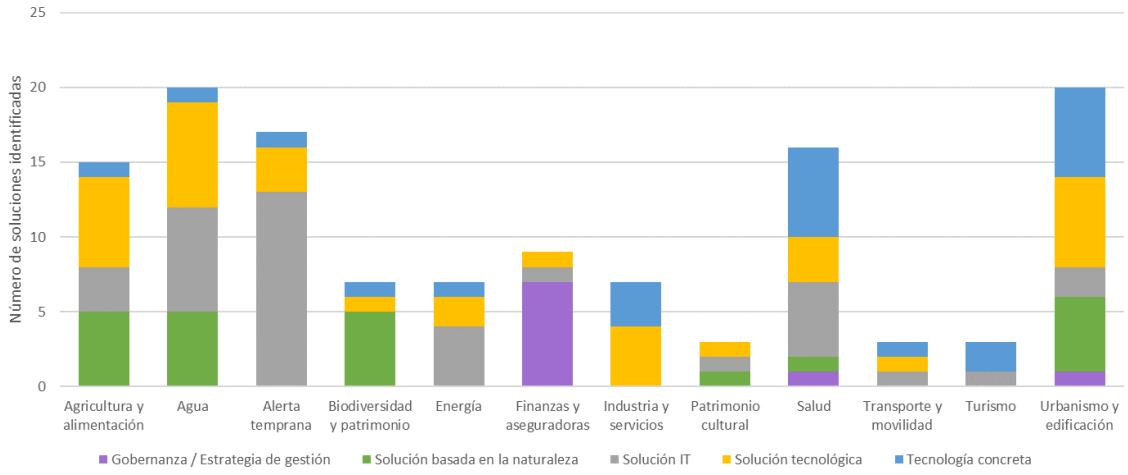


Figura 1. Número de soluciones de adaptación al cambio climático identificadas por sector y tipología. Fuente: elaboración propia.

Las soluciones identificadas se han clasificado también según su tipología (Figura **1**). De esta forma se han identificado cinco tipos de soluciones:

- Soluciones basadas en la naturaleza: son aquellas que se inspiran y apoyan en la naturaleza, generando y/o mejorando los servicios ambientales proporcionados por el ecosistema, siendo a la vez rentables y proporcionando simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos, ayudando a crear resiliencia.
- Soluciones IT: Son aquellas que aplican Tecnologías de la Información (IT) para almacenar, recuperar, transmitir y manipular datos.
- Soluciones tecnológicas: conjunto de tecnologías que de forma combinada favorecen la adaptación al cambio climático de alguna actividad. Así, mientras que cada tecnología de forma individual no ofrece beneficio o innovación alguna, de forma combinada sí lo hace.
- Tecnologías concretas: sistema, producto o instrumento, que se comercializa de forma individualizada, normalmente asociado a una patente.
- Soluciones de gobernanza o estrategias de gestión: son metodologías para la gestión y toma de decisiones.

Las soluciones basadas en la naturaleza dominan en los sectores del agua, agricultura y alimentación, biodiversidad y patrimonio natural, y urbanismo y edificación. Las soluciones de tipo IT dominan en el área de alerta temprana, y también están muy presentes en los sectores de agua y salud. En el sector de finanzas y aseguradoras, la mayor parte de las soluciones son de gobernanza, ya que muchas son estrategias de gestión del riesgo o de toma de decisiones para destinar inversiones o fondos. Las soluciones tecnológicas o tecnologías concretas están presentes en todos los sectores.

Por otro lado, cada una de las soluciones identificadas sirven para la adaptación a diferentes efectos del cambio climático (Figura 2). Los principales riesgos derivados del cambio climático están descritos en el Anexo técnico del informe de la Comisión Europea (CE) titulado "Financiando una economía europea sostenible"[7]. Aquí se ha ampliado la lista de efectos derivados del cambio climático proporcionada por la CE, para poder asociar cada solución con los efectos del cambio climático a los cuales se adapta cada una de ellas. Cada una de las soluciones se ha asociado a un efecto del cambio climático principal (Efecto CC 1), así como a un máximo de 2 efectos secundarios (Efecto CC 2 y 3). El efecto del cambio climático más frecuentemente abordado por las soluciones de adaptación identificadas es el cambio de temperaturas, seguido por las inundaciones y el estrés hídrico. Estos tres efectos del cambio climático son los que tienen mayor incidencia en el interior peninsular. En concreto las inundaciones son el riesgo derivado del cambio climático que más pérdidas humanas[8] y económicas[9] ocasiona en nuestro país.

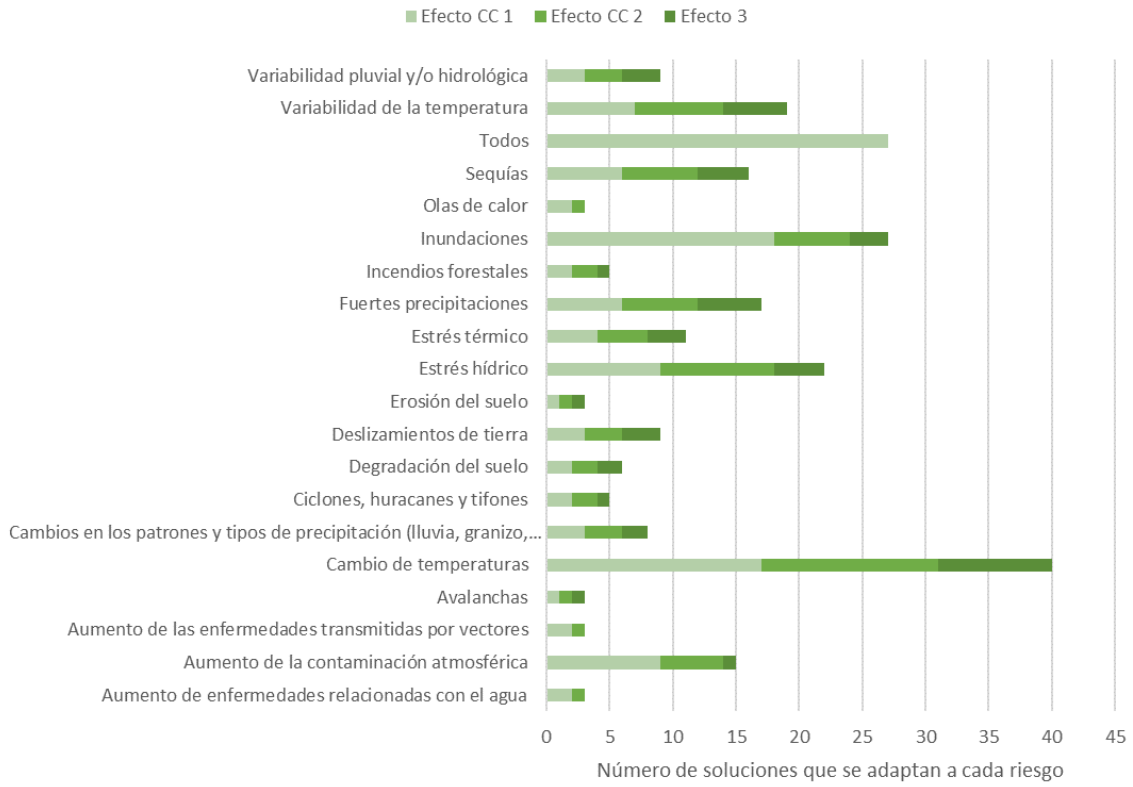


Figura 2. Efectos del Cambio Climático considerados por las soluciones identificadas. Fuente: elaboración propia.

[7] European Commission. (2020). Taxonomy: Final report of the Technical Expert What is the EU Taxonomy? In *European Commission - European Commission* (Issue March).

[8] MITECO, 2020. El Perfile Ambiental de España 2020. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España.

[9] Hidalgo Pérez, A.I. 2020: Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad aseguradora. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid

Gran parte de las soluciones identificadas han sido desarrolladas o testadas en España. Sin embargo, el inventario incluye soluciones provenientes de 31 países (Figura 3). De todos ellos, EE. UU., Países Bajos, Italia, Alemania y Reino Unido, son los países que más aparecen en el desarrollo o testado de las soluciones identificadas.

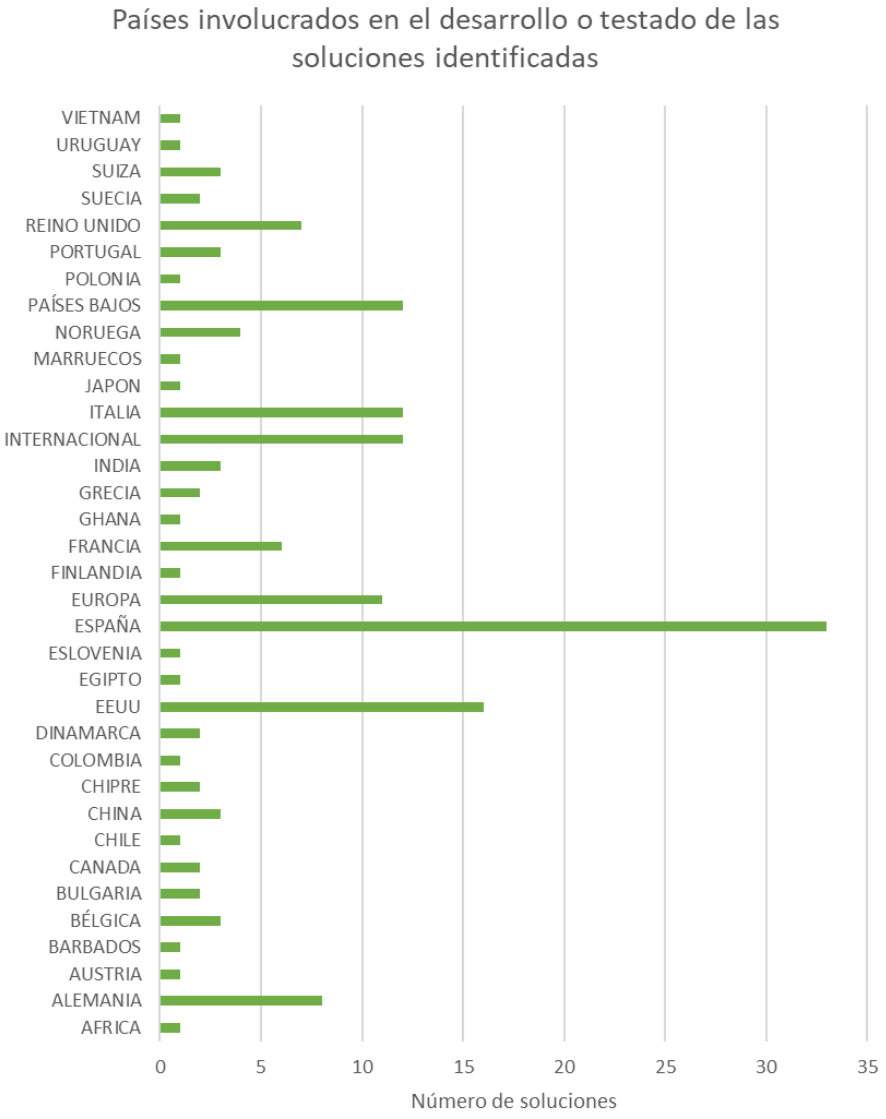


Figura 3. Países involucrados en el desarrollo o testado de las soluciones identificadas. ("Internacional" se refiere a una distribución muy amplia en todo el mundo de la solución, por lo que no se puede especificar un conjunto de países concretos. Cuando la solución se usa o esta implementada en varios países de una región del mundo nos referimos a dicha región. Este es el caso de "África" y "Europa"). Fuente: elaboración propia.

3.3 Revisores externos

Con el objetivo de asegurar la relevancia, grado de innovación y representatividad del conjunto de soluciones identificadas, el inventario (Anexo 5.1) ha sido evaluado por un comité de expertos independiente. Cada uno de los expertos involucrados es referente en su sector en el contexto de adaptación al cambio climático (Tabla 2). La evaluación de las soluciones incluidas en el inventario por parte de los revisores externos se ha fundamentado en los criterios posteriormente usados para alimentar el indicador de relevancia para la adaptación al cambio climático, que explicamos a continuación en el apartado 4.1.

Tabla 2. Comité de expertos independiente encargado de la recisión del inventario de soluciones de adaptación al cambio climático (Anexo 5.1.)

Experto externo	Afiliación	Sectores revisados
Christos Makropoulos	Profesor en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Nacional de Atenas (NTUA)	• Alerta temprana • Agua
Robert Savé	Investigador emérito en el Instituto de investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA)	• Agricultura y Alimentación
Raquel Iglesias	Directora de la unidad de biocombustibles y bioquímicos en el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas en Madrid (CIEMAT)	• Agua • Energía
Madalen González	Profesora del Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio en la Universidad Politécnica de Cataluña.	• Urbanismo y Edificación
José Maria Ordoñez	Dirección General de Salud Pública, Consejería de Sanidad, Comunidad de Madrid Profesor de Salud Pública en la Universidad Francisco de Vitoria	• Salud
Marcello Notarianni	Experto internacional en hostelería y turismo sostenible y miembro asociado a SMA Tourism	• Turismo • Patrimonio Cultural
Xavier Bellés	Profesor de Investigación del CSIC y director del Instituto de Biología Evolutiva (CSIC-UPF).	• Biodiversidad y Patrimonio Natural
Diego Iribarren	Investigador senior en la Fundación IMDEA Energía (Institutos Madrileños de Estudios Avanzados)	• Energía • Transporte y movilidad
Francisco Espejo	Subdirector de Estudios y Relaciones Internacionales del Consorcio de Compensación de Seguros	• Finanzas y Aseguradoras
Cristina Rivero	Directora del Departamento de Industria, Energía, Medio Ambiente y Clima en la Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE)	• Industria y Servicios

4 Caracterización

4.1 Metodología

Uno de los objetivos de este estudio es proporcionar información práctica para fomentar y facilitar la adaptación multisectorial al cambio climático. Para ellos se han generado fichas técnicas de las soluciones más relevantes para la adaptación al cambio climático, de todas las identificadas en el inventario.

La selección de las soluciones de adaptación se ha basado en un indicador diseñado para evaluar la relevancia de cada una de las soluciones con respecto a la adaptación al cambio climático en cada uno de los sectores. Este indicador considera el alcance multisectorial, el potencial de aplicación a corto plazo, el nivel de innovación, la aceptación social esperada y la procedencia (Tabla 3).

Para asegurar la imparcialidad del indicador, el grupo de expertos externos que ha evaluado el inventario de soluciones identificadas, han sido los encargados de valorar cada uno de estos criterios en base a los cuales se calcula el indicador de relevancia:

$$R = \sum_{i=1}^{5} p_i \cdot c_i$$

donde, R es el valor del indicador, c_i es el valor dado a cada uno de los criterios evaluados (del 1 al 3), p_i es el valor del peso dado a cada criterio (cuyos valores van del 0 al 1) y n es el número de criterios (en este caso 5).

La selección de las soluciones más relevantes para la adaptación al cambio climático surge de la combinación del criterio experto y el resultado de este indicador.

Tabla 3. Criterios de priorización de las soluciones más relevantes para la adaptación al cambio climático. Fuente: elaboración propia.

Criterios	Pesos	Valor del indicador		
		1	2	3
Potencial alcance	0,3	Solución muy específica. Aplicable en uno o dos casos en la región y en un sector concreto.	Solución de alcance intermedio.	Solución muy versátil. Fácil de implementar, aplicable en muchos casos, situaciones y sectores distintos.
Potencial de aplicación a corto plazo	0,15	Inviable	<4 años	Inmediata
Aceptación social	0,15	Aceptación baja.	Aceptación media.	Aceptación alta.
		Tecnología o solución que generaría confrontación con algún agente social.	No hay agentes sociales posicionados en estos momentos ni a favor ni en contra.	Tecnología de la que existe demanda por parte de agentes sociales y/o aporta beneficios sociales más allá de la adaptación al cambio climático.
Procedencia española	0,10	Extranjera	-	Española
Madurez tecnológica	0,3	Validada en entorno relevante.	Piloto o prototipo.	Sistema completo o real operativo.

4.2 Tecnologías y soluciones seleccionadas

Un total de 54 soluciones han sido seleccionadas como las más relevantes de todas las identificadas con respecto a la adaptación intersectorial al cambio climático (Tabla 4). Gran parte de las soluciones consideradas muy relevantes forman parte del sector de alerta temprana, agua, y urbanismo y edificación.

A la hora de generar las fichas técnicas, algunas de las soluciones inicialmente identificadas y seleccionadas se han agrupado, debido a su similitud en la problemática abordada y la tipología y enfoque de la solución. Del mismo modo, algunas soluciones se han generalizado para ofrecer información de mayor utilidad y proporcionar diferentes casos de estudio o ejemplos. Así, el total de fichas generadas es de 48.

Tabla 4. Soluciones seleccionadas. Nota: algunas medidas con bajo coeficiente R han sido introducidas en la lista de manera cualitativa. Fuente: elaboración propia.

N.º	Solución	Sector	R
1	Energía agrovoltaica (4.3.4.1)	Agricultura y alimentación	1,8
2	Desarrollo de nuevas variedades de plantas cultivadas (4.3.4.2)	Agricultura y alimentación	1,9
3	Agricultura inteligente (4.3.4.4)	Agricultura y alimentación	2,1
4	Métodos de gestión de zonas desertificadas para adaptarse al cambio climático (4.3.6.3)	Agricultura y alimentación	2,3
5	Proyecto LIFE AgriAdapt (4.3.4.5)	Agricultura y alimentación	2,7
6	ADAPTaRES (4.3.2.6)	Agua	1,0
7	Evaluación del rendimiento de embalses ante los efectos del cambio climático (4.3.2.3)	Agua	2,0
8	Medidas naturales de retención de agua para la renaturalización de zonas húmedas (4.3.2.4)	Agua	2,0
9	Sistemas fotovoltaicos flotantes para reducir la evaporación (4.3.2.5)	Agua	2,1
10	Humedales artificiales (4.3.2.2)	Agua	2,5
11	Jardines de Lluvia (4.3.2.1)	Agua	2,6
12	Mejorar la precisión de los sistemas de alerta temprana de deslizamientos usando "*machine learning*" (4.3.1.6)	Alerta temprana	1,8
13	Análisis basado en la geomorfología de las zonas críticas de inundación en pequeñas cuencas montañosas (4.3.1.2)	Alerta temprana	1,8
14	Diseño de un sistema de alerta temprana en tiempo real para inundaciones pluviales (4.3.1.5)	Alerta temprana	1,8
15	Planificación y despliegue de infraestructuras dinámicas en tiempo real para sistemas de alerta temprana de catástrofes (4.3.1.3)	Alerta temprana	1,9
16	Mejora de un sistema de detección de precipitaciones extremas con datos GPM IMERG (4.3.1.4)	Alerta temprana	2,1
17	Sistemas territoriales de alerta temprana de desprendimientos provocados por las lluvias (4.3.1.6)	Alerta temprana	2,2
18	Predicción de desprendimientos de tierra con datos satelitales de lluvia (4.3.1.6)	Alerta temprana	2,2
19	Análisis del potencial del apoyo del sistema informático en los sistemas de alerta temprana para la mitigación del riesgo de inundaciones (4.3.1.1)	Alerta temprana	2,5
20	MIDAS: *A New Integrated Flood Early Warning System for the Miño River* (4.3.1.1)	Alerta temprana	2,7
21	Envira IOT (4.3.1.1)	Alerta temprana	2,9
22	ARANTEC (4.3.1.1)	Alerta temprana	3,0
23	GEONICA (4.3.1.1)	Alerta temprana	3,0

N.º	Solución	Sector	R
24	Combatir la desertificación, caso de Alvelal (4.3.6.3)	Biodiversidad y patrimonio natural	0,0
25	*WILD HOPPER* (4.3.6.1)	Biodiversidad y patrimonio natural	2,3
26	Estrategia de infraestructuras verdes urbanas de Vitoria-Gasteiz (4.3.6.2)	Biodiversidad y patrimonio natural	2,3
27	*C3S Energy* (4.3.8.2)	Energía	2,3
28	Mapa de adaptación energética (4.3.8.3)	Energía	2,3
29	Intercambiador de calor tierra-aire (4.3.8.4)	Energía	2,5
30	Dynamic Line Rating (4.3.8.1)	Energía	2,5
31	Mapa de estrés financiero derivado del CC (4.3.10.3)	Finanzas y aseguradoras	1,0
32	Proyectos piloto para la adaptación al riesgo de inundación de infraestructuras y edificaciones (4.3.10.5)	Finanzas y aseguradoras	2,4
33	InVEST (4.3.10.1)	Finanzas y aseguradoras	2,7
34	Subvenciones para la adaptación al riesgo de inundación de edificaciones existentes (4.3.10.4)	Finanzas y aseguradoras	2,8
35	*Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs* (FPRNM) (4.3.10.2)	Finanzas y aseguradoras	2,8
36	Digitalización de la cadena de suministros (4.3.7.1)	Industria y servicios	2,4
37	Sistemas circulares de aprovechamiento de agua en los polígonos industriales (4.3.7.3)	Industria y servicios	2,4
38	LIFE ALGAECAN (4.3.7.2)	Industria y servicios	2,5
39	*iSCAPE living labs* (4.3.3.3)	Salud	1,5
40	SMARTCITIZEN (4.3.3.5)	Salud	1,6
41	UrbClim (4.3.3.1)	Salud	1,7
42	Cálculo del mapa de Madrid de la *Wet Bulb Globe Temperature* con microsensores (4.3.3.2)	Salud	2,1
43	ARBOCAT (4.3.3.4)	Salud	2,4
44	Muros vegetales (4.3.3.6)	Salud	2,5
45	PANOPTIS (4.3.9.2)	Transporte y movilidad	2,4
46	RESIST (4.3.9.1)	Transporte y movilidad	2,6
47	BIOHM (4.3.5.2)	Urbanismo y edificación	2,3
48	RESILENCE BY RENOVATION (4.3.5.1)	Urbanismo y edificación	2,4
49	PHUSICOS (4.3.5.4)	Urbanismo y edificación	2,4
50	*Ebroresilience* (4.3.5.8)	Urbanismo y edificación	2,5
51	*Water Square* (4.3.5.3)	Urbanismo y edificación	2,5
52	THERMAFY (4.3.5.6)	Urbanismo y edificación	2,5
53	Torres de captación de viento (4.3.5.7)	Urbanismo y edificación	2,5
54	RESILIO (4.3.5.5)	Urbanismo y edificación	2,7

4.3 Caracterización de las tecnologías y soluciones seleccionadas

4.3.1 Alerta temprana

4.3.1.1 Sistemas de alerta temprana para la detección de eventos de inundaciones

(Autores: Aitor Corchero Rodríguez y Eloy Hernández Busto)

Áreas o sectores donde aplica:

- Alerta temprana
- Agua

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la Información" - TI

Solución / Tecnología

Los sistemas de predicción y alerta temprana de inundaciones (en inglés *Flash Flood Early Warning Systems*) son sistemas digitales que utilizan técnicas de predicción (arboles de decisión, redes neuronales, maquinas vector soporte, regresiones lineales, etc.) y sistemas de reglas aplicadas sobre información proveniente de múltiples fuentes (p.ej. estaciones meteorológicas, estaciones hidrológicas, etc.) de la red fluvial y de drenaje, para determinar estados de alerta por inundaciones y ayudar en la elaboración de las acciones para mejorar el almacenamiento y distribución de agua, y mitigar la vulnerabilidad y los riesgos en las zonas expuestas.

Descripción básica

En muchas regiones de Europa se prevé que el calentamiento global conduzca a una mayor intensidad de las precipitaciones, unido a períodos secos más prolongados[10]. Esta situación se hace más prominente en la zona del Mediterráneo[11], para la cual se prevé que estos eventos tengan progresivamente mayores consecuencias.

Teniendo en cuenta que las inundaciones no se pueden evitar, la minimización de sus impactos busca simplemente la protección y reducción de los impactos hacia las personas y bienes materiales. En este sentido, se han diseñado y puesto en funcionamiento numerosas herramientas digitales de alerta temprana para la predicción de inundaciones.

Hoy en día, estos sistemas de predicción de inundaciones y sistemas de alerta temprana están compuestos por una capa de monitorización que usa sistemas de internet de las cosas (en inglés *"Internet of Things"* -IoT-[12]). Los sistemas IoT capturarán información in-situ que, a su vez, será transferida a un centro de control, basado en un sistema en la nube. Dentro de este centro de control se lleva a cabo un análisis de la información para determinar los estados de alerta y predicciones de inundación. Para ello, la información in-situ capturada se combina con información satelital. Sobre esta base, se establecen patrones de riesgo a nivel geográfico y, por ende, una toma de decisiones basada en información específica.

[10] Heavy precipitation in Europe

[11] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap23_FINAL.pdf

[12] Sistema tecnológico que permite que los objetos se conecten a Internet y entre sí, siendo capaces de medir parámetros del entorno, generar datos asociados y transmitirlos a través de una red de comunicaciones.

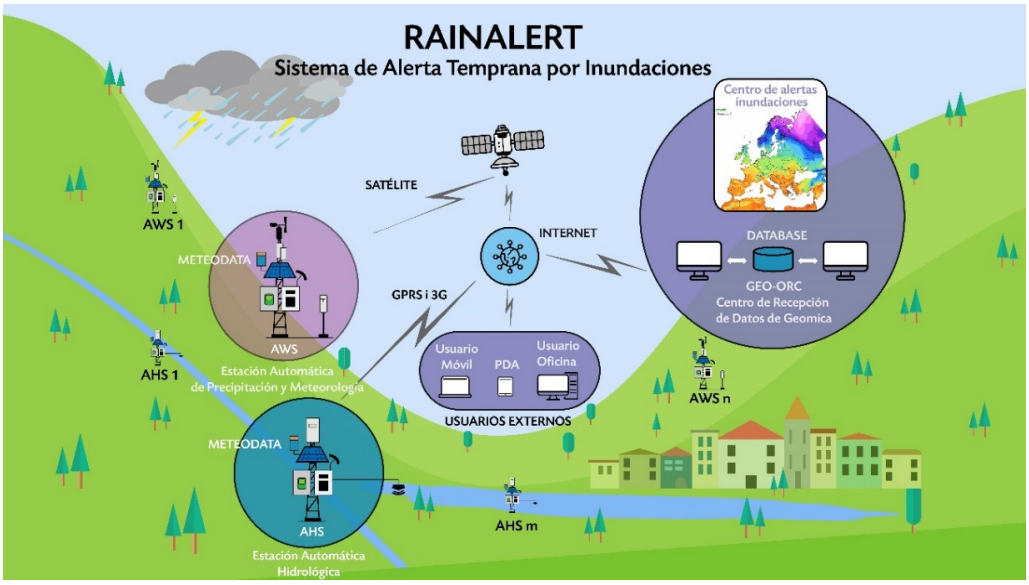


Figura 4. Sistema de alerta temprana de inundaciones. Se muestra la capa de adquisición de datos por parte de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (AWS) y Estaciones Automáticas Hidrológicas (AHS), y su posterior envío a los centros de análisis de datos a través de sistemas de comunicaciones y su comunicación con los usuarios o partes interesadas. Fuente: Geónica.

Como se observa en la Figura **4**, la captación de los datos puede estar realizada por diferentes tipos de sensores (para medir temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, velocidad de viento y precipitación). De esta forma, uno de los retos de estos sistemas reside en la comprensión e interconexión de la información, debido a la convivencia de diferentes estándares. Esto hace, que la interoperabilidad entre los sistemas digitales sea un punto clave.

Finalmente, y desde el punto de vista de modelos de analíticas de datos, estos sistemas necesitan, primeramente, de la capacidad de autoadaptación hacia los constantes cambios en los patrones de los ecosistemas de la cuenca. El último reto está en el nivel de detalle de la información y la capacidad de predicción ante las incertidumbres climáticas. Es por ello por lo que estos sistemas han evolucionado hacia una mayor escalabilidad en su capacidad de muestreo y captura de la información.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Soporte a la decisión para elaborar planes de protección ante inundaciones. • Sistema ampliable, con capacidad de añadir más sensores en la capa de obtención de datos. • Positiva la relación coste-beneficio de estas soluciones[13]. • Sistemas de ayuda en la gestión de las cuencas y la gestión de los recursos hídricos.	• Necesita de un mantenimiento de los sensores para mantener la calidad de la información monitorizada. • Necesita de una calibración de los modelos para adecuarse a los cambios dinámicos de los ecosistemas. • Potencial falta de colaboración entre instituciones para combinar datos. • La falta de colaboración y coordinación en cuanto al acceso a datos por parte de las distintas entidades, organismos y administraciones puede causar una reducción en el rendimiento de los modelos estadísticos y matemáticos[14], además de los basados en datos[15]. • La interoperabilidad influye en el rendimiento de estos sistemas.

[13] https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/large_scale_early_flood_warning_systems_provide_high_returns_on_investment_425na5_en.pdf

[14] De Wrachien, D., Mambretti, S., & Sole, A. (2010). Mathematical models in flood management: Overview and challenges. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 133, 61–72.

[15] Han, H., & Morrison, R. R. (2021). Data-driven approaches for runoff prediction using distributed data. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment.

Potenciales barreras para su implementación

Las principales barreras (o requerimientos) para la implementación de estos sistemas, se clasifican en los siguientes bloques:

- Tecnológicas. Requiere de un alto conocimiento de los sensores a utilizar para la instalación y calibración de estos, así como de los modelos subyacentes para un correcto funcionamiento de la solución en su conjunto.
- Institucionales. Se necesita una estrecha colaboración y coordinación entre instituciones, ya que las distintas competencias de estas necesitan ser interrelacionadas en tiempo real en caso de inundaciones pluviales.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 9

Actualmente, hay diferentes herramientas de predicción comerciales tales como RAINALERT[16] que ofrece una combinación de sistemas IoT a través de diferentes estaciones meteorológicas (sensores de caudal de agua, velocidad y dirección del viento, humedad del suelo, sensores de nivel de agua, sistemas de precipitación) que, combinado con cámaras (sistemas de imágenes) permite una monitorización remota y en tiempo real de las cuencas. El sistema de detección de alertas está basado en un sistema de reglas sobre la información recabada.

Otro de los sistemas relevantes de alertas tempranas[17] de inundaciones es el de EnviraIoT[18]. Este sistema está formado por un conjunto de estaciones autónomas (*"dataloggers"*) que se encargan de capturar información relativa a la temperatura, humedad, turbidez y velocidad del agua entre otros. La novedad de este sistema reside en su comunicación de los datos, basada en 3G y LoRa (*Long Range*)[19]. Además, este producto usa tecnología de *aprendizaje automático*[20] para la detección de las alertas de inundación.

Finalmente, también se han combinado sistemas de alerta temprana con el fin de interrelacionar información proveniente de sistemas *IoT* junto con información de redes sociales. En este sentido, el enfoque es interrelacionar medidas proporcionadas por sensores junto con medidas provistas por usuarios bajo un concepto denominado "usuario como sensor". De esta forma, se pueden validar y asociar las medidas de los sensores con eventos de inundaciones.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Uno de los retos de estos sistemas es su capacidad para integrar diferentes fuentes de información de una forma confiable y segura. Con el fin de dar respuesta a este reto, durante los próximos años, estos sistemas evolucionarán hacia el uso y adopción de tecnologías de libro mayor distribuido (en inglés *"Distributed Ledger Technologies")*. Es decir, tecnologías para gestionar la información de una forma descentralizada y de forma inmutable. La segunda evolución de estos sistemas tenderá a la adopción de la denominada computación continua (en inglés *"Continuum Computing")*[21] como tecnologías que combinan la generación, el procesamiento y la computación de datos en tiempo real.

---

[16] http://www.geonica.com/fil/Model/DocumentLibrary/1/9992-0058-rainalert-sistema-alerta-temprana.pdf

[17] Acosta-Coll, M., Ballester-Merelo, F., Martinez-Peiró, M., & de la Hoz-Franco, E. (2018). Real-time early warning system design for pluvial flash floods—a review. In Sensors (Switzerland) (Vol. 18, Issue 7). MDPI AG.

[18] ENVIRA IoT

[19] Tecnología de modulación del tipo amplio espectro. Esto le permite tolerar ruido, caminos múltiples de señal y el efecto Doppler, mientras mantiene muy bajo el consumo de energía. El costo de lograr esto es el ancho de banda, que es muy bajo comparado con otras tecnologías inalámbricas.

[20] El aprendizaje automático o aprendizaje automatizado o aprendizaje de máquinas (del inglés, machine learning) es una rama de la inteligencia artificial cuyo objetivo es desarrollar técnicas que permitan que los ordenadores aprendan. Se dice que un agente aprende cuando su desempeño mejora con la experiencia y mediante el uso de datos.

[21] Beckman, P., Dongarra, J., Ferrier, N., Fox, G., Moore, T., Reed, D., & Beck, M. (2019). *Harnessing the Computing Continuum for Programming Our World*.

A nivel de analítica de datos, los modelos actualmente usados están basados en modelos matemáticos, modelos paramétricos o basados en datos. Independientemente, estos modelos deben modelar el comportamiento de los ecosistemas, su interrelación y las incertidumbres adheridas a los mismos. Es por ello por lo que a lo largo de los próximos años cabe esperar que aparezcan[22]:

- Sistemas de cuantificación de los impactos y consecuencias en los ecosistemas y biodiversidad.
- Sistemas de medición de los impactos en la sociedad más allá de los efectos directos de un episodio de inundación.

Resultados esperables

A continuación, en el informe de la Comisión Europea[23], se dan algunas referencias de beneficios atribuibles a la aplicación de esta medida:

Beneficio	Medida
Reducción de pérdidas por daños a empresas	Reducción entre 50-75% de pérdidas causadas por inundaciones.
Reducción de daños sobre la población	Reducción en un 30% en personas damnificadas y un 60% de afectados de forma directa o indirecta.
Ratio coste-beneficio de este tipo de soluciones	25% de reducción de los costes esperados por materialización de las inundaciones.

Costes de instalación

Los costes de instalación de este tipo de soluciones son altamente dependientes de las actuaciones a realizar en base al tipo y número de sensores, las estaciones meteorológicas y los módulos analíticos. En términos de orden de magnitud, basándonos en estudios disponibles[24] (localizados en Nepal), se estima para estos sistemas un coste de 12,75M€ teniendo en cuenta la instalación a gran escala de estaciones hidrológicas (750k€), estaciones meteorológicas profesionales (entre 500€ y 1.500€ por unidad)[25], sistemas de predicción de cambio climático (6M€), y modelos climatológicos, de precipitación y de alerta temprana (3,5M€).

Costes de operación

En cuanto a los costes de operación, estos están cuantificados en alrededor de 131-152k€ anuales considerando el mantenimiento de los sistemas de monitorización y software con los algoritmos (100k€), el mantenimiento del sistema en la nube (entre 1.300€ y 2.500€ al año)[26] y los costes de personal para el análisis y procesado de los datos registrados (entre 30.000€ y 50.000€ sueldo bruto anual).

Aceptación social

[22] Kundzewicz, Z. W., Beven, K., Hall, J., Krasovskaia, I., Penning-Rowsell, E., & They, B. S. (2013). Emerging lessons from ecosystems | Floods: lessons about early warning systems Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation 347 Emerging lessons from ecosystems | Floods: lessons about early warning systems 15 Floods: lessons about early warning systems (1) The author gratefully acknowledges valuable comments from five reviewers.

[23] Thielen-del Pozo, J., Thiemig, V., Pappenberger, F., Revilla-Romero, B., Salamon, P., de Groeve, T., Hirpa, F., & European Commission. Joint Research Centre. (2015). *The benefit of continental flood early warning systems to reduce the impact of flood disasters.* Publications *Office.*

[24] Rai, R. K., van den Homberg, M. J. C., Ghimire, G. P., & McQuistan, C. (2020). Cost-benefit analysis of flood early warning system in the Karnali River Basin of Nepal. International Journal of Disaster Risk Reduction, 47.

[25] Taiko Meteorología

[26] Jones, E. (2021) Cuota de mercado de la nube – una mirada al ecosistema de la nube en 2022. [accedido el 25/02/2022]

Es evidente que la aceptación social de las medidas a nivel institucional es alta debido a que una mejora en los sistemas de predicción y de alerta temprana ayuda a la reducción del impacto de estos eventos en las poblaciones, especialmente en las cercanas a zonas de riesgo.

A pesar de que estas tecnologías y su uso pasan desapercibidas para la sociedad, estas tienen un impacto en la gestión y restauración de los ecosistemas, y minimizan el riesgo de inundación en las ciudades. Tanto la gestión y la restauración como la mitigación de los daños producidos por inundaciones son de interés general, debido a los impactos del cambio climático en ciudades y poblaciones cercanas a zonas de riesgo.

Destinatarios

- Administraciones publicas
- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel regional
- Explotaciones agrícolas

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones
- Fuertes precipitaciones
- Ciclones, huracanes y tifones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

La solución presentada ayuda a la minimización de los impactos causados por las inundaciones en las diferentes regiones de riesgo. A nivel estatal las regiones más vulnerables a este tipo de eventos extremos son las zonas costeras además de zonas cercanas grandes ríos o embalses.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Balcanes	JRC	2014	Combinación de proyecciones climáticas (COPERNICUS) con sistemas de predicción de inundaciones. Esto ayudó a desplazar 140.000 personas antes de las inundaciones.
Demarcación Hidrográfica del Duero	ADASA	2015	Implementación de 280 estaciones meteorológicas e hidrológicas bajo el sistema de Delft-FEWS.
Marbella	PEARL	2014	Combinación de modelos de NWP[27] con datos in-situ para la detección de alertas.
Colombia	UPV; Universidad de la Costa	2018	Instalación de un sistema de alerta temprana que combina sistemas IoT con información de las redes sociales para determinar las alertas.
La vega Baja (Alicante)	AGBAR/SUEZ	2021	Uso de simulaciones, inteligencia artificial e información en tiempo real para analizar infraestructuras y mitigar los efectos de las inundaciones y evaluación de impactos subyacentes.
Andorra	Gobierno de Andorra (Envira IoT)	2018	Monitorización del caudal de ríos para detectar posibles avenidas y advertir de riesgo de inundación.
Madrid	Canal de Isabel II	2018	Sistema de monitoreo en tiempo real compuesto por tres radares con alcance de 65 km, algunos pluviómetros láser y varios pluviómetros tradicionales que cubren toda la cuenca.

[27] Numerical Weather Prediction

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Gestores de cuencas hidrográficas.
- Empresas proveedoras de tecnología digital y física.
- Organismos de investigación relacionados con el agua.

4.3.1.2 Modelos hidrológicos e hidráulicos aplicados a Sistemas de Alerta Temprana

(Autores: Aitor Corchero Rodríguez y Eloy Hernández Busto)

Áreas o sectores donde aplica:

- Alerta temprana
- Agua

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la Información" - TI

Solución / Tecnología

Como parte de un sistema de alerta temprana por inundaciones fluviales, en muchos casos se incluyen modelos de predicción hidrológicos[28] e hidráulicos[29]. Estos modelos ofrecen predicciones y/o simulaciones sobre la evolución del régimen hidráulico en los cauces (variaciones del caudal, calado y velocidad) como consecuencia de fuertes precipitaciones y condiciones medioambientales. La información que ofrecen los modelos integrados dentro de un SAT (Sistema de Alerta Temprana), proporciona ayuda útil en la toma de decisiones para mitigar de forma precisa y eficaz los efectos de una inundación. Estos modelos complementan la información que proporcionan mapas detallados de las zonas y los riesgos asociados (ver Fernandez-Novoa et al, 2020).

Cabe destacar que como base sobre la que se aplican dichos modelos hidrológicos e hidráulicos se encuentran los modelos digitales de elevación, que corresponden con los llamados MDT (Modelo Digital del Terreno o *"Digital Terrain Model"*) y MDS (Modelo Digital de Superficie o *"Digital Surface Model"*) creados a través de la tecnología LIDAR (*"Laser Imaging Detection and Ranging"*), y cuya diferencia es la incorporación de la elevación de elementos artificiales y naturales (Figura **5**). La tecnología LIDAR se basa en el uso de un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz de luz. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada.

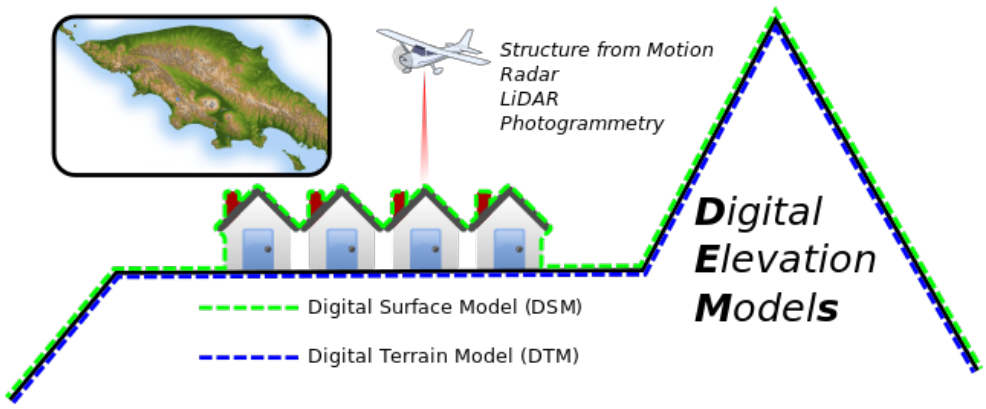


Figura 5. La diferencia entre el modelo digital de superficie (MDS) y el modelo digital del terreno (MDT). Fuente: Arbeck.

Descripción básica

Este tipo de soluciones toman como punto de partida la información relativa a escenarios de caudal de avenida proporcionada por modelos hidrológicos a partir de predicciones de precipitación. Partiendo de esta información, sobre el modelo digital del terreno elaborado, se hace circular este caudal por el cauce representado en el modelo digital del terreno, de cara a

[28] Modelo que proporciona información sobre la probable evolución de los caudales de la red fluvial.

[29] Modelo que proporciona información sobre el equilibrio y movimiento del agua.

evaluar su régimen hidráulico y determinar las zonas de inundación y de posible afección a bienes personales y materiales.

Existen diversas herramientas comerciales tanto para la modelización del caudal de avenida como para la simulación hidráulica del flujo en el cauce. Entre los primeros cabe destacar HEC-HMS[30]. Entre los segundos, existen las herramientas de mayor divulgación como son InfoWorks[31] y, a nivel nacional Iber+[32]. Además, este sistema utiliza el pronóstico de precipitación como datos de entrada para elaborar las simulaciones y, por ende, las predicciones de comportamiento del sistema hidrológico.

Las previsiones de precipitación pueden ser propias o también se pueden obtener de agencias y organismos públicos, que pueden ofrecer diferentes rangos de predicción con sendas ventanas de tiempo (días, horas, minutos), y que abarcan áreas de diferentes tamaños. Los resultados de ambos modelos se obtienen en una escala de tiempo horaria, planteando por tanto escenarios hora a hora en un horizonte de 24h.

El sistema se ejecuta automáticamente a través de un conjunto de *"scripts"*[33] que pueden ser desarrollados en distintos lenguajes de programación como, por ejemplo, "*Python"*[34]. Cuando se detecta cualquier peligro el sistema emite una alerta, junto con mapas detallados de inundación y peligrosidad, para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a adoptar medidas de mitigación precisas y eficaces.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Permite realizar predicciones basadas en el comportamiento físico del área de interés. • Al ser un sistema dependiente de organismos públicos para la toma de datos asegura la fiabilidad y coherencia de estos. • Facilita una toma de decisiones basada en simulaciones y comportamientos potenciales del área de interés. • Sistema de predicción de inundaciones por ventanas de tiempo. • Detalle visual de zonas afectadas. • Sistema validado con análisis estadísticos basados en datos históricos. • Software libre para uso de los modelos descritos.	• Requiere mapeo aéreo de la zona con tecnología LIDAR. • Solución específica para cada región o zona, ya que los mapas son propios de cada lugar. • Mantenimiento de una base de datos cartográfica.

Potenciales barreras para su implementación

Las principales barreras (o requerimientos) para la implementación de estos sistemas, se clasifican en los siguientes bloques:

- Tecnológicas: Este tipo de modelos de predicción necesitan ser alimentados con datos de elevación de alta resolución provenientes del uso del LIDAR. También requieren la recopilación y mantenimiento de datos históricos de inundaciones.

[30] HEC-HMS es un modelo lluvia-escorrentía que se basa en estructurar la cuenca origen en subcuencas asociadas a los cauces de la red fluvial.

[31] Es un modelo matemático que integra totalmente el modelo de cuenca, pudiendo hacerse la hidrología, la hidráulica de redes de saneamiento y drenajes, así como, la hidráulica fluvial.

[32] Iber+ es un software libre para la modelización hidráulica, compuesto por un modelo matemático bidimensional, que incluye un módulo hidrodinámico para la simulación de flujos de ríos, canales y cauces naturales, permitiendo así el cálculo de avenidas e inundaciones y la delimitación de zonas inundables. (González-Cao J., et al. (2020) Iber+ : A New Code to Analyze Dam-Break Floods. In: Fernandes F., Malheiro A., Chaminé H. (eds) Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge. Advances in Science, Technology & Innovation (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham).

[33] El script es un documento que contiene instrucciones, escritas en códigos de programación.

[34] "Python" es un lenguaje de programación interpretado cuya filosofía hace hincapié en la legibilidad de su código.

- Metodológicas: Para que el sistema pueda extenderse y aplicarse a diferentes escenarios, es necesario que los datos que definen las condiciones de contorno de los modelos de predicción tengan un formato estandarizado.
- Topográficas: El sistema debe disponer de los cambios topográficos del terreno de forma actualizada, ya sea por extensión de zonas urbanizadas o por accidentes geográficos.
- Relativa a recursos humanos: Este tipo de sistemas requieren para su puesta en marcha y operación la involucración de expertos en escaneo por láser aerotransportado y en modelización hidráulica, con los conocimientos necesarios para interpretar los datos meteorológicos e históricos de inundaciones. Además, se requieren expertos informáticos para el mantenimiento de las bases de datos cartográficas, meteorológicas e históricas. En el caso de hacer uso de drones se requeriría de pilotos acreditados.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 6

La solución y tecnologías descritas han sido validadas en entornos relevantes, como la cuenca del río Miño, donde se disponía de datos históricos y se han podido comparar condiciones y resultados de las predicciones hechas por el sistema.

La innovación reside en que la combinación de ambos modelos resulta en una rápida predicción de las inundaciones. En el pasado dicha predicción era más lenta ya que ambos modelos trabajaban por separado lo cual suponía un tiempo de cálculo de horas hasta obtener los resultados.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Con una frecuencia de inundaciones de gran magnitud en todo el mundo cada vez mayor, existe una mayor necesidad de proporcionar información precisa sobre sus posibles impactos a futuro. La modelización y simulación de inundaciones ha evolucionado en las últimas décadas desde la simulación de tramos de ríos individuales hasta abarcar millones de tramos continentales. En un futuro se espera que haya una generalización de la modelización bidimensional merced a los avances en capacidad de computación y desarrollo de herramientas informáticas, por lo que las predicciones se centraran en integrar enfoques como procesos atmosféricos, modelos hidrológicos y sociales[35].

Cabe destacar que el crecimiento de tecnologías en el campo de la inteligencia artificial y aprendizaje automático darán pie a poder procesar más en profundidad los puntos de información laser que recoge LIDAR.

En cuanto al enfoque social se espera que en el futuro se pueda ofrecer más y mejores referencias a los usuarios o habitantes de zonas con riesgo de inundación de forma que les permita calibrar mejor el riesgo al que se exponen[36].

Resultados esperables

Los resultados esperados y valor añadido de la adopción de este tipo de tecnología se pueden resumir en:

Beneficio	Medida
Ventana de tiempo	24 horas.
Resolución de predicciones	Mapas detallados con el nivel de riesgo separado por tramos.
Relación beneficio-coste	Al hacer uso de software libre los costes de uso se reducen significativamente.

[35] Singh, V.P. Hydrologic modeling: progress and future directions. *Geosci. Lett.* **5,** 15 (2018).

[36] Jose Adolfo Alvarez, Guilermo Perez Dolset. Confederación Hidrográfica del Ebro. (2019). *Sistema de ayuda a la decision del Ebro.*

Beneficio	Medida
Precisión cartográfica 3D	• A 100 m los sistemas tienen una resolución de pocos centímetros. • Permite cartografiar bajo vegetación. • Permite cartografiar bajo agua.
Ángulo de visión	360º.

Costes de instalación

Puesto que el uso de los modelos hidráulicos e hidrológicos no tienen coste por ser de dominio libre, los costes de instalación vendrían asociados al equipamiento necesario para ejecutar los modelos (entre 1.000€ y 10.000€ por unidad, ordenadores y servidores respectivamente) y la programación del código para detectar alertas.

Costes de operación

Los gastos de mantenimiento serían los relativos a la infraestructura informática, las horas de trabajo de personal cualificado para la ejecución de los modelos hidráulicos y la programación de las alertas (entre 30.000€ y 50.000€ anuales como sueldo bruto de un trabajador), el coste de los drones en el caso que se hiciera uso de ellos para el mapeo aéreo y los equipos LIDAR (entre 25.000€ y 30.000€)[37], así como el coste de los seguros de los equipos, tanto drones, como LIDAR (15.000€).

Aceptación social

Es evidente que la aceptación social de las medidas a nivel institucional es alta debido a que una mejora en los sistemas de predicción y de alerta temprana ayuda a la reducción del impacto de estos eventos en la población, especialmente a las cercanas a zonas de riesgo. A pesar de que estas tecnologías y su uso pasan desapercibidas para la sociedad, estas tienen un impacto en la gestión y restauración de los ecosistemas, y minimizan el riesgo de inundación en las ciudades. Tanto la gestión y la restauración como la mitigación de los daños producidos por inundaciones son de interés general, debido a los impactos del cambio climático en ciudades y poblaciones cercanas a zonas de riesgo.

Destinatarios

- Administraciones publicas
- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel regional
- Explotaciones agrícolas

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones
- Fenómenos erosivos
- Arrastre de sólidos en cauce

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En relación con la adaptación al cambio climático, esta herramienta permite la detección de zonas o áreas geográficas susceptibles de inundaciones según la gravedad, así como estimar la propensión de inundación, en base a la combinación de modelos hidráulicos e hidrológicos. Este tipo de herramientas permite identificar dichas zonas vulnerables y facilitar la toma de decisiones operativas y estratégicas.

[37] Hobby Tuxtla. LiDAR integración para drones DJI

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
España Portugal	Universidad de Vigo	2020	Sistema integrado para la alerta temprana de inundaciones para el río Miño.
Polonia	Fondo Europeo de Desarrollo Regional	2019	Proyecto financiado por FEDER en Polonia, en el que se implementa la solución descrita en esta ficha.
Italia	Universidad de Perugia	2019	Integración de modelos hidráulicos 2D y VGI en un marco de asimilación de datos para el pronóstico y el mapeo de inundaciones en tiempo real y utilizando tecnología LIDAR en casos de uso específicos.
Portugal	*Polytechnic Institute of Leiria, Polytechnic Institute of Castelo Branco*	2021	Un sistema interactivo de alerta y pronóstico de inundaciones fluviales Web-GIS en funcionamiento en Portugal.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Gestores de cuencas hidrográficas
- Empresas proveedoras de tecnología digital y física
- Organismos de investigación relacionados con el agua

4.3.1.3 Planificador dinámico de infraestructuras

(Autores: Aitor Corchero Rodríguez y Eloy Hernández Busto)

Áreas o sectores donde aplica:

- Alerta temprana
- Agua

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la Información" - TI

Solución / Tecnología

Los planificadores dinámicos de infraestructuras son herramientas digitales que se aplican en un entorno virtual (entorno *en la nube*). Es decir, estos sistemas ofrecen visualizar la infraestructura de forma virtual con el fin de simular decisiones operativas y políticas que requieran aplicarse en caso de desastres naturales para obtener soporte en la toma de decisiones y mejorar la gestión de los recursos.

Estos sistemas (Figura **6**) son herramientas complejas que normalmente constan de (1) módulos de alerta temprana como sistemas de ayuda para la toma de decisiones; (2) sistemas y modelos de planificación con el fin de optimizar el uso de recursos en caso de emergencias; (3) sistemas de base de datos para gestionar toda la información necesaria para la toma de decisiones; y (4) sistemas de visualización que permitan automatizar la planificación, aprovisionar recursos y monitorizar las potenciales alertas a lo largo del tiempo en base a la región monitorizada.

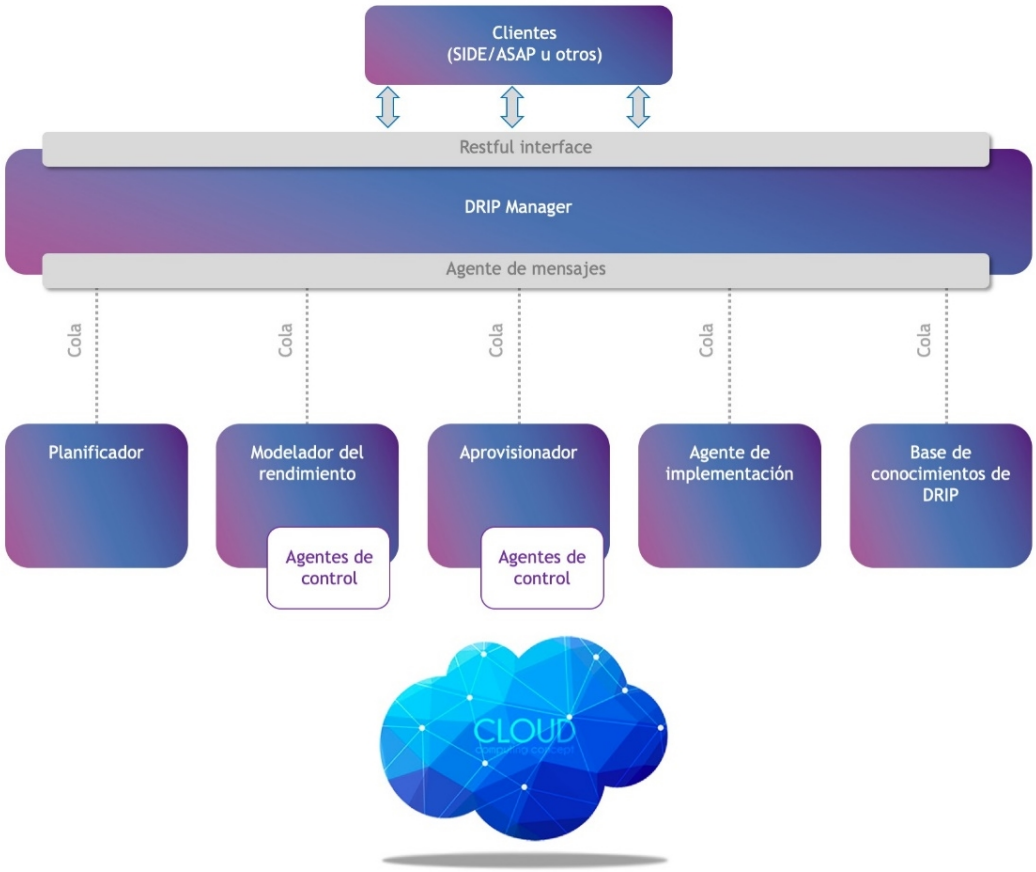


Figura 6. Arquitectura y esquema de los componentes y módulos de los que se compone un Planificador Dinámico de Infraestructuras (*DRIP -Dynamic Realtime Infrastructure Planner*). Fuente: elaboración propia.

Descripción básica

Los planificadores dinámicos de infraestructuras simulan de forma óptima y eficiente, diferentes procesos y decisiones operativas y estratégicas, ante desastres naturales.

Este tipo de herramientas virtuales toma decisiones de forma automatizada en función de los resultados de los distintos procesos que ejecuta y de la información recabada en tiempo real. Son herramientas adaptables a diferentes entornos e infraestructuras. De esta forma se puede definir esta herramienta como "elástica" y "adaptable", reduciendo así el tiempo de implantación, análisis y robustez que conllevan los sistemas de alerta convencionales.

Las características clave de esta herramienta se modelan como una serie de microservicios, que se acoplan entre sí:

1. El planificador de infraestructura encargado de diseñar una infraestructura eficiente basada en los flujos de trabajo mediante la selección de máquinas virtuales y la conexión entre ellas. Como estándares en los que fundamentar y especificar este módulo podemos encontrar YAML[38] (*"Yet Another Markup Language"*) en concordancia con TOSCA (*"Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications"*)[39].

2. El modelador de rendimiento permite probar diferentes recursos de la nube para proporcionar datos de rendimiento para que los utilice el planificador de infraestructura y otros componentes dentro y fuera de DRIP. Como ejemplo de infraestructura que demuestra la funcionalidad de este módulo encontramos la plataforma ExoGENI[40], que es una plataforma de infraestructura como servicio (en inglés *"networked infrastructure-as-a-service"* -NIaaS-) que emplea sofisticados algoritmos de incrustación de topología (*"embedding algorithms"*) para aprovechar las descripciones de recursos semánticos usando NDL-OWL (*"Network Description Language"*)[41]

3. El aprovisionador de infraestructura puede descomponer la descripción de la infraestructura provista por el planificador y aprovisionarla en varios centros de datos (posiblemente de diferentes proveedores) con una configuración de red transparente. Utiliza la interfaz de computación abierta en la nube (en inglés *"Open Cloud Computing Interface" - OCCI*)[42] como interfaz por defecto

4. El agente de implementación instala los componentes de la aplicación en la infraestructura aprovisionada. El agente de implementación puede programar en función de los cuellos de botella de la red y los plazos de implementación. Puede implementar clústeres de *Docker*[43] superpuestos mediante *Docker Swarm*[44] o *Kubernetes*[45]

5. Los agentes de control de infraestructura son un conjunto de API que DRIP proporciona a las aplicaciones para controlar las máquinas virtuales y para adaptar los flujos de red. Proporcionan acceso a la programabilidad subyacente proporcionada por las infraestructuras virtuales, por ejemplo, escalado horizontal y vertical de máquinas virtuales, proporcionando

[38] YAML.

[39] Lauwers, C. & Tamburri, D. "OASIS Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications (TOSCA) TC", OASIS OPEN.

[40] ExoGENI

[41] SDNL Ontology Specification

[42] Open Cloud Computing Interface (Occi)

[43] Docker docs.

[44] "Swarm mode"

[45] Kubernetes

interfaces mediante las cuales la infraestructura que aloja una aplicación puede manipularse dinámicamente en tiempo de ejecución.

6. El administrador de DRIP se implementa como un servicio web que permite que los clientes externos invoquen las funciones de DRIP como servicios. Cada solicitud es dirigida al componente apropiado por un gestor, que es responsable de coordinar los componentes individuales y escalarlos si es necesario. El gestor también mantiene una base de datos que contiene cuentas de usuario.

7. La comunicación entre el gerente y los componentes individuales es facilitada por un *"Message Broker"* (intermediario de mensajes), el cual se comunica mediante los protocolos *Advanced Message Queuing Protocol* (AMQP) and *RabbitMQ*. La intermediación de mensajes es un patrón arquitectónico para la validación, transformación y enrutamiento de mensajes, que ayuda a componer aplicaciones asincrónicas y poco acopladas al proporcionar una comunicación transparente a componentes independientes.

8. La información de recursos, las credenciales y los flujos de trabajo de las aplicaciones se administran internamente a través de una base de conocimientos. Mantiene las descripciones de los proveedores de la nube, los tipos de recursos, las características de rendimiento y otra información relevante. La base de conocimientos también proporciona una interfaz para que estos agentes busquen proveedores, recursos y datos de estado de tiempo de ejecución durante la ejecución de una aplicación.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Integración de información heterogénea para la generación eficiente de decisiones óptimas y políticas. • Análisis de la información teniendo en cuenta la variable temporal y costo-eficiencia de las medidas. • Análisis y evaluación de escenarios críticos para la toma de decisiones. • Incorporación de indicadores ambientales. • Optimización de recursos.	• Requiere la realización de cierta simplificación de los escenarios. • Involucración de diferentes partes interesadas para seleccionar objetivos de las decisiones operativas y políticas. • Alto coste en la caracterización de la incertidumbre y los modelos correspondientes. • Debido a la complejidad de la solución, este tipo de soluciones son costosas en cuanto a tiempo y esfuerzos.

Potenciales barreras para su implementación

Las principales barreras (o requerimientos) para la implementación de estos sistemas, se clasifican en los siguientes bloques:

- Tecnológicas: A nivel tecnológico las principales barreras de adopción de esta tecnología residen en la falta de interoperabilidad de los sistemas lo que causa que sea necesario realizar un esfuerzo grande en la armonización de los modelos de datos, incluyendo los relativos a modelización climática.
- Regulatorias o de gobernanza: En el ámbito de la gobernanza la principal barrera está en la alineación de este tipo de soluciones con modelos estándar como, por ejemplo, la ISO 31000 (evaluación de riesgos) y la ISO 27001 (seguridad de la información).
- Institucionales: A nivel institucional la principal barrera de implementación es el tiempo requerido para la elaboración de los objetivos y alcance de la solución, con la involucración de diferentes agentes en el proceso.
- Ambientales: la principal barrera está en la toma de decisiones ambientales a modelar.
- Económicas: A nivel económico, la principal barrera reside en el alto costo y complejidad en la implementación de un sistema completo. Es por ello, que estos sistemas se van desarrollando de una forma gradual e incremental a lo largo del tiempo.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 6

Actualmente, la implementación de estos sistemas esta parcialmente elaborada y, la tecnología está en fase de validación en entornos controlados. Considerando estos aspectos, uno de los sistemas de planificación dinámica aplicados a desastres naturales es el denominado DRIP (*"Dynamic Real-Time Infrastructure Planning"*)[46]. Este sistema es una herramienta digital en la nube donde las decisiones y operaciones son calculadas en base a un algoritmo de planificación basado en grafos. La optimización de dichas decisiones es calculada en base a una serie de indicadores ambientales previamente identificados y definidos.

Otra de las soluciones recientemente implementadas[47] utiliza redes bayesianas sobre predicciones climatológicas (dos niveles de extracción de patrones) para el cálculo de estas operaciones políticas y operativas.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Esta tecnología aún está en un proceso de continua evolución y adopción. En este sentido, los retos principales de esta tecnología radican en el uso de métodos de control y técnicas de planificación dinámica considerando, además, aspectos del cambio climático. En relación con este aspecto, las futuras líneas de investigación de esta tecnología tenderán hacia:

- Refinamiento de los modelos que representan procesos climáticos: teniendo en cuenta la corrección de los errores de estos modelos y una caracterización de la incertidumbre a una escala más refinada.
- Elaboración de sistemas de clasificación de la incertidumbre: Este aspecto es clave con el potencial de aprender de estas incertidumbres y analizar los efectos en cascada de los diferentes eventos.
- Elaboración de sistemas robustos para la validación de políticas: Existe la necesidad de crear test robustos y unificados para la realización de las validaciones políticas. En este sentido, es necesario la realización de conjuntos de datos que caractericen las incertidumbres para poder abordar estas pruebas.
- Reducción de la complejidad computacional: Elaboración de métodos y sistemas de evaluación que permitan medir la eficiencia y efectividad. Además, un aspecto a tener en cuenta es el de pasar de modelos monolíticos hacia un sistema escalable (p.ej. basado en microservicios) para poder expandir el uso de la tecnología. Finalmente, estos sistemas tenderán hacia uso de métodos basados en datos más livianos para la caracterización de los diferentes problemas y determinación de estos.
- Autonomía en la toma de decisiones: Una tendencia que se está dando es la aplicación de optimización para la toma de decisiones autónoma (basada en técnicas de aprendizaje por refuerzo o "*Reinforcement Learning*") con el fin de establecer políticas equilibradas a diferentes niveles.

Resultados esperables

Los principales resultados esperados son una reducción del coste en la aplicación de las políticas, así como la capacidad de planificación a muy largo plazo.

Costes de instalación

El coste de instalación de un DIRP[48] está estimado en 14-16M€. Esta estimación queda desglosada en la elaboración de un sistema de alerta temprana (12M€), modelos climáticos de "*downscaling*" (o de regionalización o de reducción de escala) (1M€) y una plataforma "*big data cloud*" completa (2M€).

[46] Shi, Y., Fu, H., Tian, Y., Krzhizhanovskaya, V. V., Lees, M. H., Dongarra, J., & Sloot, P. M. A. (Eds.). (2018). *Computational Science – ICCS 2018. Lecture Notes in Computer Science.*

[47] Herman, J. D., Quinn, J. D., Steinschneider, S., Giuliani, M., & Fletcher, S. (2020). Climate Adaptation as a Control Problem: Review and Perspectives on Dynamic Water Resources Planning Under Uncertainty. In *Water Resources Research* (Vol. 56, Issue 2). Blackwell Publishing Ltd.

[48] Dynamic Real-Time Infrastructure Planning

Costes de operación

En relación con los costes de operación, estos están cuantificados en alrededor 160k€ anuales. Esta cantidad cubre los gastos de mantenimiento anual de la plataforma "*cloud*" (entre 1.300€ y 2.500€ al año)[26], las personas involucradas en su mantenimiento (entre 30.000€ y 50.000€ anuales)**¡Error! Marcador no definido.** y el mantenimiento de los algoritmos y sistemas de alerta temprana(100k€).

Aceptación social

La aceptación social de este tipo de tecnología es media ya que es una herramienta que aún está por explorar sus beneficios totales. En tecnologías similares experimentadas en proyectos europeos como SIM4NEXUS o actualmente en NEXOGENESIS[49], la aceptación social de herramientas de aprendizaje (como las basadas en juegos serios o "*serious games*") para llevar a cabo una toma de decisiones políticas tiene su principal aceptación en el entendimiento de las relaciones entre las políticas y los instrumentos necesarios para materializarlas.

A nivel operativo y de planificación, estas herramientas tendrán una aceptación adecuada. Esto es debido a que una simulación y comprensión de las políticas y estrategias ayudará a las autoridades y administraciones regionales a emprender una toma de decisiones efectiva y eficiente a largo plazo.

Destinatarios

- Administraciones publicas
- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel regional
- Empresas gestoras de agua
- Entidades para la gestión de emergencias

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones
- Fuertes precipitaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Como encaje conceptual, este tipo de sistemas de planificación dinámica de las infraestructuras permitirán una toma de decisiones tanto a nivel operacional como político, en base a potenciales eventos que generen un impacto negativo en las mismas. Esto permitirá a los organismos regionales y autoridades a diseñar y planificar instrumentos e incentivos políticos para la adaptación al cambio climático. A nivel tecnológico, esta tecnología tiene su encaje debido a la aplicación de tecnología de analítica en el mismo punto desde donde se recogen los datos, combinada con analítica en base a datos históricos a gran escala, combinando modelos basados en datos junto con modelos de predicción climática.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Los siguientes ejemplos se basan en la aplicación de la herramienta "*Chef*"[50] a diferentes casos reales. Estos dos casos son una pequeña muestra:

Lugar	Responsable	Año	Descripción
EEUU	AppLovin	2019	Automatización de la infraestructura virtual de la empresa asegurando que los sistemas puedan adaptarse y moverse

[49] European Comission. (2020). NEXOGENESIS. Novel framework brings the EU one step closer to its water management and climate target.

[50] Progress Chef

Lugar	Responsable	Año	Descripción
			lo suficientemente rápido para manejar las crecientes necesidades de la empresa.
Israel	*Bank Hapoalim*	2019	Diseño de la topología de red alrededor de Chef, además de la automatización de procesos relacionados con seguridad, integración y despliegue de aplicaciones adaptando la infraestructura en función de los requisitos.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Administraciones públicas
- Empresas gestoras de agua
- Empresas proveedoras de tecnología digital y física
- Organismos de investigación relacionados con el agua y el cambio climático
- Entidades basadas en la gestión de datos climáticos

4.3.1.4 Sistemas de detección de precipitaciones extremas

(Autores: Aitor Corchero Rodríguez y Eloy Hernández Busto)

Áreas o sectores donde aplica:

- Alerta temprana
- Agua
- Salud

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la Información" TI

Solución / Tecnología

Los sistemas de detección de precipitaciones extremas son herramientas digitales capaces de determinar eventos de lluvia extrema usando principalmente datos hidrometeorológicos y series temporales adquiridas a través de información satelital. Además, estos sistemas utilizan modelos estadísticos para la determinación de las alertas ante eventos hidrometeorológicos.

Descripción básica

En la actualidad, y debido al cambio climático, los eventos hidrometeorológicos están incrementando su frecuencia e intensidad. Es por ello por lo que actualmente están proliferando la aparición de herramientas de ayuda a la identificación y detección de estos eventos.

Normalmente, estas herramientas de detección están principalmente fundamentadas en medidas in situ de estaciones hidrometeorológicas para la detección de dichos eventos. El elemento más innovador de estas herramientas de detección de eventos extremos es que usan fuentes de información satelital para realizar la identificación y detección de dichos eventos. Así, estas herramientas están formadas por una capa de integración de la información proveniente de repositorios satelitales (p.ej. Copernicus, ITHACA, etc.) o a través del algoritmo IMERG ("*Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM*") que proporciona información sobre precipitaciones de múltiples satélites, con el fin de almacenar esta información en una base de datos. En este sentido, la información recabada suele estar relacionada con medida de precipitación (p.ej. *precipitationCal*, *precipitationUncal*, *HQprecipitation* y *IRprecipitation*).

En base a esta información esta herramienta realiza la detección mediante el establecimiento de unos umbrales de confianza. Estos umbrales, en la actualidad, son calculados en base a un análisis de la información histórica sobre los valores de las precipitaciones medias anuales. Como resultado, la información se visualiza en un sistema de información geoespacial donde se identifican las diferentes alertas y/o riesgos.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Detección en tiempo real de eventos hidrometeorológicos extremos (p.ej. huracanes, tormentas tropicales, tormentas convectivas, inundaciones y tormentas intensas). • Sistemas que usan información satelital para determinar las alertas. • Reducción de los costes de mantenimiento de las herramientas al no existir una red de sensores per-se. • Recomendable para una toma de decisiones a gran escala. • Integración de este sistema de detección de precipitaciones con otros sistemas de alerta temprana de detección de inundaciones.	• Rendimiento del sistema influenciado por la resolución de la información satelital. • Baja adaptabilidad a cambios en los patrones de precipitaciones ya que las alertas están fundamentadas únicamente en un análisis estadístico en tiempo de puesta en marcha de la solución.

Potenciales barreras para su implementación

Las principales barreras (o requerimientos) para la implementación de estos sistemas, se clasifican en los siguientes bloques:

- Gobernanza: En este nivel, la principal barrera está en el establecimiento de las alianzas necesarias para obtener la información satelital de alta resolución. Este punto es clave, ya que es el fundamento principal de la herramienta.
- Institucional: Es necesaria una estricta cooperación entre instituciones para la puesta en marcha de estos sistemas. Particularmente cuando se necesita relacionar en tiempo real diferentes tipos de información a escala de cuenca.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 7

Actualmente, existen algunos prototipos implementados que usan la información satelital para la detección de eventos extremos provocados por el cambio climático. En este sentido, una de las herramientas que actúa como sistema de alerta temprana es el denominado ERDS ("*Extreme Rainfall Detection System*")[51]. Este sistema permite la identificación de eventos hidrometeorológicos combinando la información satelital con predicciones realizadas por estos sistemas. En este sentido, las alertas son identificadas a través de una metodología de detección y establecimiento de los umbrales de confianza en base a la realización de un análisis estadístico (estudio de las distribuciones) sobre datos históricos

Finalmente, otra de las soluciones es el de NASA-TRMM ("*Tropical Rainfall Measuring Mission*") como sistema para la detección de tormentas tropicales teniendo en cuenta información de precipitaciones provenientes de *NASA GPM IMERG, PERSIANN, PERSIANN-DDS y GSMap*. En este sentido, las alertas son detectadas en base a filtros y umbrales marcados por los usuarios.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Uno de los principales avances de estas herramientas reside en la identificación y elaboración de metodologías para determinar, de forma dinámica estos umbrales de confianza. De esta forma, estas aplicaciones podrían llegar a ser adaptativas a los patrones cambiantes de los datos climatológicos. Para ello, la tendencia irá hacia la aplicación de modelos físico-climáticos interrelacionados con modelos basados en datos (aprendizaje automático o *"Machine Learning"* y aprendizaje profundo o *"Deep Learning"*).

Interrelacionado con este concepto, la calibración de los modelos climáticos y su correspondiente rendimiento es un reto en un ámbito de gran escala donde interactúan diferentes eventos hidrometeorológicos. Es por ello, que, en este sentido, estudios de causalidad entre los diferentes eventos pueden proporcionar una ayuda para las futuras detecciones de forma temprana de mencionados eventos.

Finalmente, están herramientas tenderán hacia el uso de información morfológica y geomorfológica de las diferentes áreas como mecanismos para contextualizar los eventos y además interrelacionar la naturaleza de las diferentes áreas/regiones con eventos hidrometeorológicos.

Resultados esperables

Los resultados esperados y valor añadido de la adopción de este tipo de tecnología se han podido cuantificar en base a los siguientes elementos[52]:

Beneficio	Medida
Detección de eventos hidrometereológicos	80% de inundaciones; 45% de tormentas convectivas; 85% de huracanes y ciclones; 50% de

[51] ITHACA ERDS

[52] Mazzoglio, P.; Laio, F.; Balbo, S.; Boccardo, P.; Disabato, F. Improving an Extreme Rainfall Detection System with GPM IMERG data. Remote Sens. 2019, 11, 677.

Beneficio	Medida
	tormentas que inducen desplazamiento de tierra; 85% de inundaciones y tormentas tropicales.
Intervalos de agregación de la información	Desde cada 15 min hasta 96 horas.

Costes de instalación

El uso de la aplicación es actualmente gratuito. No obstante, los costes de instalación se incrementarían en función del número de equipos informáticos como ordenadores y servidores donde almacenar los datos (entre 1.000€ y 10.000€)**¡Error! Marcador no definido.** dependiendo de la capacidad de cómputo y almacenaje. También sería necesario personal especializado capaz de manejar y entender los datos adquiridos, como un ingeniero informático (entre 30.000€ y 50.000€)**¡Error! Marcador no definido.**. Como referencia en cuanto a costes de base de datos de series temporales podemos estimar entre 200€ y 300€ al año almacenando los datos en la nube.

Costes de operación

Si bien no se han encontrado datos específicos, teniendo en cuenta herramientas similares, los costes de operación anuales rondarían los 110k€. Esta cifra incluiría el mantenimiento anual de los sistemas de monitorización y algoritmos (100k€) dependiendo de la cantidad de sensores y dispositivos de adquisición de datos, y mantenimiento del sistema en la nube (10k€) que incluiría infraestructura, soporte y seguridad de los datos.

Aceptación social

Estos sistemas son de aceptación social media-alta debido a su interrelación con la elaboración de estrategias de mitigación al cambio climático.

Destinatarios

- Administraciones publicas
- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel regional
- Empresas gestoras de agua

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Este tipo de herramientas, permiten identificar eventos extremos como huracanes, ciclones, inundaciones o tormentas tropicales en base a predicciones satelitales.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
EEUU	ITHACA	2019	Demostración del sistema de ERDS de la plataforma ITHACA ante eventos hidrometeorológicos extremos de EEUU.
EEUU	NASA	2019	Demostración de NASA-TRMM como herramienta digital para proveer información satelital y predicciones sobre eventos extremos.

(*) Página 435 del documento

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Gestores de cuencas hidrográficas
- Empresas proveedoras de tecnología digital y física
- Organismos de investigación relacionados con el agua
- Administraciones regionales y estamentos administrativos (gobiernos regionales, ministerios).
- Empresas de modelización climática

4.3.1.5 Sistema híbrido de detección temprana de inundaciones repentinas

(Autores: Aitor Corchero Rodríguez y Eloy Hernández Busto)

Áreas o sectores donde aplica:

- Alerta temprana
- Agua

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la Información" - TI

Solución / Tecnología

Los sistemas de predicción y alerta temprana de inundaciones ("*Flash Flood Early Warning Systems"*) son sistemas digitales que utilizan técnicas de predicción (modelos de clasificación y regresión, como por ejemplo: arboles de decisión, redes neuronales, máquinas vectoriales de soporte, regresiones lineales, etc.) y sistemas de reglas aplicadas sobre información heterogénea (p.ej. caudal, estaciones meteorológicas, estaciones hidrológicas, etc.) de las redes fluviales y de drenaje para determinar estados de alerta por inundaciones y ayudar en la elaboración de las acciones para mejorar el almacenamiento y distribución del agua, mitigar la vulnerabilidad y los riesgos en las zonas expuestas.

Descripción básica

Como mecanismo para la identificación y evaluación del riesgo de inundaciones, esta plataforma digital involucra una capa de integración de la información (dirección del viento, velocidad del viento, nivel de agua, intensidad de precipitaciones, cantidad de precipitaciones) en base a sistemas de Internet de las Cosas. Sobre esta capa de monitorización *in-situ* de la información, se ha incorporado un módulo de análisis orográfico de la zona con el fin de asociar las medidas con la morfología y geología de la región donde se implanta la solución. Con todo esto, el sistema aplica una detección en tiempo real de los eventos de inundaciones.

Para ello, el sistema hace uso de un módulo de predicción de las precipitaciones mediante el uso de modelos numéricos (de equilibrio, hidrometeorológicos e hidrodinámicos), modelos empíricos (análisis de frecuencia de tormentas e inundaciones, uso de modelos empíricos y racionales) y modelos basados en análisis históricos entrenados (análisis de correlación sobre escenarios críticos, modelos de interpolación). Complementando estos modelos de alerta temprana, los métodos y modelos de probabilidades (redes bayesianas) se incorporan en la arquitectura para la determinación de casos de riesgo en la región donde se instala. Finalmente, la parte visual de la plataforma se corresponde con una visualización geográfica en una aplicación web.

La innovación y novedad de este sistema radica en la hibridación en el uso de modelos para determinar alertas y estados de riesgo, para inundaciones. Concretamente, esta hibridación que combina técnicas en tiempo real con técnicas basadas en datos históricos permite la gestión holística de los riesgos, la generación de planes de control operativos, la provisión de servicios de alerta a gran escala, la creación de planes de contingencia, la realización de predicciones de prevención contra desastres y la monitorización de planes de control contra los mismos.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Gestión holística de riesgos ante desastres naturales. • Monitorización y control a gran escala de crisis causadas por estos eventos hidrometereológicos. • Alta capacidad de respuesta a inundaciones.	• Los dispositivos de medición requieren de un mantenimiento. • Los modelos requieren de una calibración para adaptarse a los cambios geográficos de las cuencas.

Ventajas	Desventajas
• Reduce considerablemente los daños económicos y humanos. • Ayuda en la gestión de los recursos gracias a la planificación frente a posibles escenarios.	• Requieren un enfoque basado en el conocimiento de expertos en la materia para la definición de áreas críticas (análisis orográfico). • Imprescindible cooperación entre instituciones.

Potenciales barreras para su implementación

Las principales barreras (o requerimientos) para la implementación de estos sistemas, se clasifican en los siguientes bloques:

- Tecnológicas: En este sentido, la principal barrera reside en la selección e instalación de sensores. Además, hay que tener en cuenta, la calibración de los sensores y de los modelos subyacentes para un correcto funcionamiento en su conjunto. Aparte de esto, la interoperabilidad de los datos es una dificultad que influye en el rendimiento de estos sistemas.
- Institucionales: Es necesaria una estricta cooperación entre instituciones para la puesta en marcha de estos sistemas. Particularmente, cuando diferentes tipos de información de la cuenca necesita ser interrelacionada en tiempo real.
- Económicas: Estas soluciones son costosas de implementar.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 8

El estado de esta tecnología es el de producto en demostración a gran escala. Este sistema incorpora información (dirección del viento, velocidad del viento, nivel de agua, intensidad de precipitaciones, cantidad de precipitaciones) de sistemas de Internet de las Cosas (en inglés *"internet of things"*) cumplimentada con información orográfica de la zona donde se implanta. La innovación de este sistema radica en la incorporación del sistema de alerta a dos niveles: sistema de alerta temprana en tiempo real y sistema de predicción a gran escala. A nivel de resultados, estos sistemas han permitido reducir el tiempo de toma de decisiones a 1-2 horas con métodos de aprendizaje automáticos aplicados.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que en los próximos años estos sistemas mejoren su capacidad de integración de datos de distintas fuentes complementándola con una mayor capacidad de análisis en tiempo real debido a la evolución de los sistemas de monitorización *in-situ,* que mejorarán su capacidad de comunicación con las implementaciones de redes 5G/6G a lo largo del mundo.

A nivel analítico y de gestión de riesgos estas herramientas evolucionarán hacia:

- La aplicación de técnicas cuantitativas para entender la interrelación entre las causas de la materialización de inundaciones y los correspondientes efectos asociados.
- El establecimiento de un sistema exhaustivo de indicadores clave para determinar las cuantificaciones de los impactos y las consecuencias de estos eventos en la biodiversidad, los ecosistemas, las infraestructuras y la población.
- El refuerzo en la incorporación de modelos y módulos de otras disciplinas tales como modelos hidrológicos, modelos meteorológicos y climáticos, etc.

Resultados esperables

Los resultados esperados y valor añadido de la adopción de este tipo de tecnología se han podido cuantificar en base a los siguientes elementos:

Beneficio	Medida
Detección de eventos de inundación	Ventanas temporales de 1-2 horas.

Beneficio	Medida
Pasos temporales de las predicciones y los cálculos	Los resultados con estas técnicas permiten pasar de pasos de predicción de 10 minutos hasta 1 hora

Costes de instalación

Los costes de instalación de este tipo de soluciones son altamente dependientes de las instalaciones a realizar en base al tipo y número de sensores (entre 150€ y 2.000€ dependiendo del tipo de sensores e instrumentos de precisión)[53], las estaciones meteorológicas profesionales (entre 500€ y 1.500€)[54] y módulos analíticos a tener en cuenta. A estos costes hay que añadir la parte de analítica de datos como los sistemas de predicción (6M€), modelos de precipitación y de alerta temprana (3,5M€).

Costes de operación

En cuanto a los costes de operación, se consideran susceptibles de tener en cuenta los costes de mantenimiento de los sistemas de monitorización y algoritmos (100k€), el mantenimiento del sistema en la nube (entre 1.300€ y 2.500€ al año) y el coste del personal involucrado en el mismo (entre 30.000€ y 50.000€ anuales).

Aceptación social

La aceptación social de esta tecnología dirigida al uso por parte de autoridades y entidades gubernamentales es alta. En este sentido, el uso y adopción de esta tecnología a gran escala permite minimizar los riesgos de afectación de eventos meteorológicos extremos dentro de poblaciones y/o zonas vulnerables a inundaciones. De esta forma, un incremento en las vidas salvadas y minimización de pérdidas de infraestructuras impactan positivamente en la sociedad. Del mismo modo y relacionado con temas medioambientales, estas técnicas permiten establecer modelos de riesgos de forma holística. Este aspecto permite planificar, diseñar y monitorizar acciones que permitan regenerar la biodiversidad, ecosistemas y a la vez minimizar los impactos causados por estos desastres naturales.

Destinatarios

- Administraciones publicas
- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel regional
- Explotaciones agrícolas

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Este tipo de sistemas permiten la elaboración de estrategias para la implementación de medidas y acciones que minimicen los riesgos causados por la aparición de eventos hidrometereológicos extremos. En este sentido, la alta resolución de estos sistemas (10m) adherido a la posibilidad de poder incrementarlo con tecnología LIDAR (0,3m) permitirá crear mapas ráster[55] que permitan una toma de decisiones tanto operativa, como de planificaciones mucho más ajustada. Y finalmente, esta toma de decisiones más exacta permitirá avanzar en

[53] TAIKO Meteorología. Instrumentos de precisión.

[54] TAIKO Meteorológica. Estaciones meteorológicas profesionales.

[55] Esri (2016) Datos ráster

la elaboración de acciones innovadoras de adaptación contra el cambio climático de una forma eficiente en cuanto a costes.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
China (Lingbao)	Instituto de agua de China	2018	Mejora del sistema FFEWS de China para reducir la exactitud de los modelos a 10m.
China (Sichuan)	Instituto de agua de China	2020	Mejora del sistema en la caracterización de los episodios de lluvia (en determinadas fases horarias). Además, se ha actualizado el sistema para albergar una visualización ArcGIS.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Gestores de cuencas hidrográficas
- Empresas proveedoras de tecnología digital y física
- Organismos de investigación relacionados con el agua

4.3.1.6 Sistemas satelitales de modelización de episodios de lluvia para la predicción de corrimientos de tierra

(Autores: Aitor Corchero Rodríguez y Eloy Hernández Busto)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agua
- Urbanismo y edificación
- Salud

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la Información" - TI

Solución / Tecnología

Las soluciones y productos para el cálculo dinámico de umbrales de lluvia se corresponden con módulos analíticos y estadísticos para pronosticar la ocurrencia de deslizamientos de la tierra en áreas cercanas a terrenos costeros y montañosos, donde son más frecuentes estos eventos. La reconstrucción cuantitativa de las condiciones pluviométricas que pueden causar desprendimientos es el primer paso para la identificación de umbrales pluviométricos efectivos. Este sistema normalmente se añade a los sistemas de alerta temprana con el fin de realizar predicciones de la ocurrencia de dichos deslizamientos de tierra. Para ello, el sistema tiene en cuenta la reconstrucción de escenarios previos de episodios de lluvia.

Descripción básica

Estos sistemas de predicción de episodios de lluvia para la detección de eventos de corrimientos de tierra son una tecnología que viene siendo estudiada desde los años 90[56]. A lo largo de estos años, estos sistemas principalmente se han centrado en el incremento constante de la resolución espaciotemporal de la información. Complementariamente, la evolución de estos sistemas ha venido marcada por la mejora de las precisiones de los algoritmos que calculan los umbrales de forma automática y dinámica en base a ocurrencias pasadas. A lo largo de esta evolución, estos sistemas han venido usando una modelización física de los episodios de lluvia[57], la elaboración de heurísticas empíricas[58] y finalmente, la construcción de sistemas de predicción y optimización de parámetros[59].

La arquitectura de estos sistemas y productos (Figura **7**) está formada por una capa de captura de datos históricos basadas en eventos/episodios de corrimientos de tierra pasados. Esta información viene representada por series temporales de los episodios de lluvia correspondiente. Complementando los datos históricos, estos módulos actualmente incorporan sistemas de captura de la información para el control de los episodios de lluvia en tiempo real (predicciones meteorológicas). Con tal fin, estos sistemas dan uso de una red de sensores de precipitaciones que permiten hacer un seguimiento de los episodios de lluvia. La información recopilada es utilizada para realizar las predicciones. La diferencia entre estos sistemas reside en dichos algoritmos de predicción y la subyacente precisión y facilidad de manejo de estos. Estas fuentes de información son costosas de mantener y, además, quedan afectadas por continuos errores de muestreo (p.ej. descalibrado de los sistemas). Debido a estos aspectos, estos sistemas han sufrido un estancamiento durante décadas. En la actualidad, estos sistemas han evolucionado hacia sistemas interconectados gracias a la reducción de los costes de los sistemas de monitorización y la mejora de la calidad de los sensores incorporados. Complementariamente, estos sistemas se han visto beneficiados por el uso de información

[56] T. Brunetti, M. Melillo, S. Peruccacci, L. Ciabatta, L. Brocca, How far are we from the use of satellite rainfall products in landslide forecasting?, Remote Sensing of Environment, Volume 210, Pages 65-75 (2018)

[57] M. Alvioli, R.L. Baum, Parallelization of the TRIGRS model for rainfall-induced landslides using the message passing interface, Environmental Modelling & Software, Volume 81, Pages 122-135. (2016)

[58] Piciullo, L., Gariano, S.L., Melillo, M. et al. Definition and performance of a threshold-based regional early warning model for rainfall-induced landslides. Landslides 14, 995–1008 (2017).

[59] Bengtsson, L., Dias, J., Gehne, M., Bechtold, P., Whitaker, J., Bao, J., Magnusson, L., Michelson, S., Pegion, P., Tulich, S., & Kiladis, G. N. Convectively Coupled Equatorial Wave Simulations Using the ECMWF IFS and the NOAA GFS Cumulus Convection Schemes in the NOAA GFS Model, Monthly Weather Review, 147(11), 4005-4025. (2019)

satelital. Esto ha permitido que estos sistemas hayan podido evolucionar hacia una predicción de los episodios de lluvia de una forma más automatizada. En definitiva, la combinación de estos elementos ha permitido ajustar los umbrales de potenciales corrimientos de tierra.

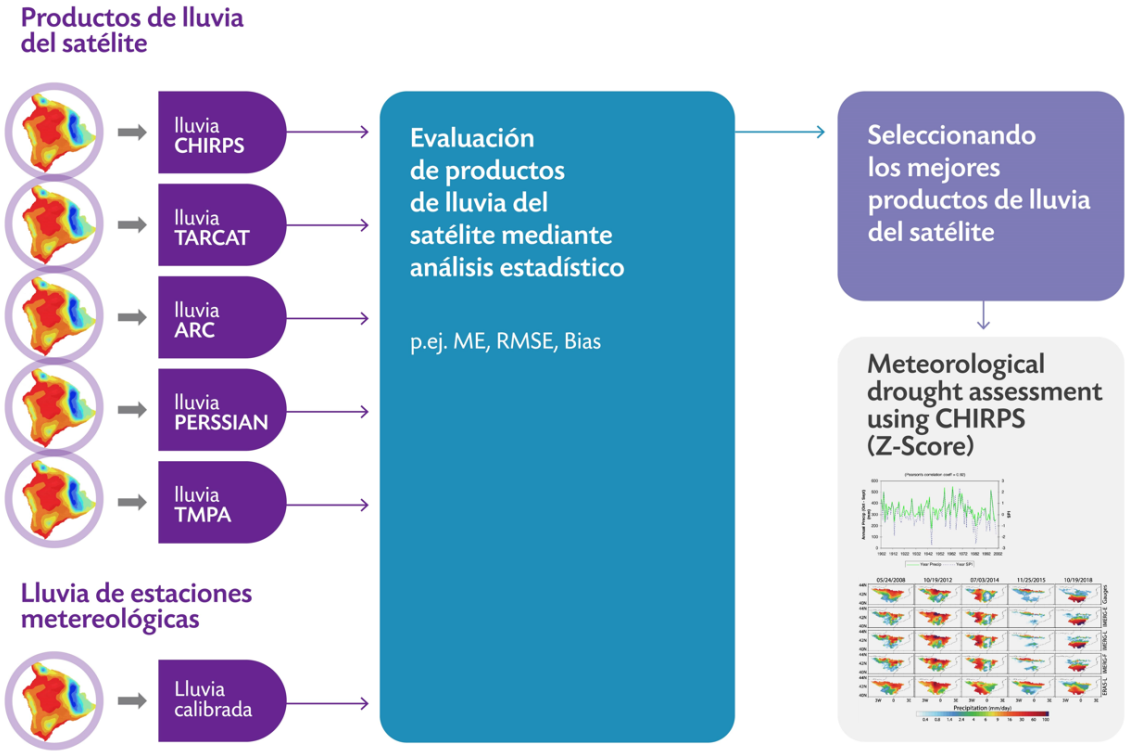


Figura 7. Sistema satelital de modelado de episodios de lluvia (en este caso para su aplicación a un modelo de sequía). Fuente: elaboración propia.

Actualmente, los modelos que usan la metodología de CTRL-T *("Calculation of Thresholds for Rainfall-induced Landslides-Tool")* [60] son los que más se ajustan para singularizar los eventos de precipitación a partir de series de precipitación continuas. Para cada deslizamiento, la herramienta (1) selecciona automáticamente el píxel representativo (2) identifica las condiciones de duración y precipitación acumulada más probables que se supone que pueden causar un deslizamiento, y (3) calcula los umbrales empíricos de duración de la lluvia del evento acumulado teniendo en cuenta varias probabilidades.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Sistema de predicción de eventos de lluvia. • Cálculo de umbrales automáticos para la detección de eventos de corrimiento de tierras. • Herramienta para complementar los sistemas de alerta temprana de inundaciones. • Son parcialmente adaptables a las incertidumbres climáticas.	• Son sistemas que requieren de un alto tiempo de computación para el cálculo de los umbrales. • Son dependientes de las medidas de sensores y su precisión. • La caracterización de los eventos de lluvia y desplazamiento de tierra es un proceso que no se puede automatizar, por lo que se requiere mano de obra especializada. • Costes altos de instalación.

[60] Massimo Melillo, Maria Teresa Brunetti, Silvia Peruccacci, Stefano Luigi Gariano, Anna Roccati, Fausto Guzzetti, A tool for the automatic calculation of rainfall thresholds for landslide occurrence, Environmental Modelling & Software, Volume 105, Pages 230-243. (2018)

Potenciales barreras para su implementación

Las principales barreras (o requerimientos) para la implementación de estos sistemas, se clasifican en los siguientes bloques[61]:

- Ambientales u orográficas: Para la adopción a gran escala de estos sistemas, se requieren estudios de impacto de lluvias y erosión en base a información histórica. Este tipo de estudios es necesario para que el sistema pueda relacionar información topográfica y orográfica.
- Institucionales: Es necesaria una estricta cooperación entre instituciones para la puesta en marcha de estos sistemas, al combinar diferentes tipos de información relativa a pluviometría y predicciones climáticas.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 5/6

A pesar de que esta tecnología se lleva estudiando durante las últimas décadas, está aún en fase de demostración y validación en entornos controlados. Una de las herramientas de predicción que está tomando relevancia es la basada en la metodología CTRL-T[60]. Este sistema tiene las capacidades principales de (1) reconstruir semiautomáticamente los eventos de lluvia; (2) calibrar parámetros basándose en modelos de balances hídricos; (3) calcular los umbrales basándose en probabilidades en base a un sistema predictor (*Maximum Probability Rainfall Conditions -MPRC*).

Otros sistemas similares son los basados en SREM2D *("A Two Dimensional Satellite Rainfall Error Model")*[62] que tienen en cuenta errores estocásticos en las predicciones de lluvia satelitales. Estos sistemas usan simulaciones de caudal combinadas con sistemas de predicción climática, sistemas satelitales de lluvia y sensores de pluviometría para el cálculo de los umbrales.

Otra de las soluciones demostradas es la denominada LEWS (ingl. "*Landslide Early Warning Systems*") como una solución demostrada en 12 localizaciones diferentes de una forma distribuida. En este sentido, la herramienta incorpora una capa de sistemas basados en Internet de las Cosas donde se miden las variables de precipitación, humedad, inclinación y profundidad del terreno. Con esta información, la modelización y aprendizaje para la detección de alertas se realiza mediante la aplicación de técnicas basadas en modelos de datos. Concretamente, los modelos de datos más usados son los basados en técnicas de máquinas de vectores de soporte (*Support Vector Machine o SVM*) para la predicción de los valores. Las alertas son generadas en base a un análisis estadístico sobre las predicciones para determinar los intervalos de confianza.

Finalmente, la solución denominada *TeLEWS*[63] (ingl. *"Territorial Landslide Early Warning Systems")* combina sistemas de Internet de las Cosas bajo una capa de computación de borde (ingl. *"edge computing"*) para determinar alertas (instrumentos y técnicas de monitorización). Sobre esta capa y para cumplimentar la generación de alertas, esta solución incluye modelización meteorológica (basados en modelos/sistemas SIGMA -*Sistema Integrato Gestione Monitoraggio Allerta*-[64] y *Saturated Unsaturated Simulation for Hillslope Instability - SUSHI*[65]) y técnicas de predicción de lluvia para determinar eventos de desprendimientos de tierra causados por precipitaciones.

Avances esperados o deseables en los próximos años

[61] Bodo Bookhagen and Manfred R. Strecker. (2007). Orographic barriers, high-resolution TRMM rainfall, and relief.
[62] Fangliang Chena, Huiling Yuana, Rouchen Sun, Chunlei Yang. Journal of Hydrology. *Streamflow simulations using error correction ensembles of satellite rainfall*, 20. (2020)
[63] Luca Piciulloa,Michele Calvelloa,José Mauricio Cepeda. Earth-Science Reviews. Territorial early warning systems for rainfall-induced landslides, 20. (2018)
[64] Martelloni, G., Segoni, S., Fanti, R. et al. Rainfall thresholds for the forecasting of landslide occurrence at regional scale. Landslides 9, 485–495. (2012)
[65] Capparelli, G., Versace, P. FLaIR and SUSHI: two mathematical models for early warning of landslides induced by rainfall. Landslides 8, 67–79. (2011)

Durante los próximos años[66], se espera que estos sistemas evolucionen hacia un mayor uso de la tecnología satelital para ofrecer predicciones a gran escala. En términos de modelado y predicción, se espera que los algoritmos y herramientas evolucionen hasta alcanzar unas mejores cotas de predicción a corto plazo (actualmente los modelos realizan las predicciones en ventanas de predicción de 48h). Este último aspecto es de vital relevancia para elaborar soluciones robustas teniendo en cuenta las predicciones de episodios de lluvia. Complementariamente, se espera que estos sistemas evolucionen en la resolución de la monitorización satelital hasta alcanzar cotas menores a 1 kilometro.

Resultados esperables

Como resultados esperables de la adopción de esta tecnología, y en base a los estudios empíricos realizados, los beneficios se pueden resumir en:

Beneficio	Medida
Tolerancia temporal	Intervalo de 48 horas
Resolución de las predicciones	Cada píxel se comporta como un pluviómetro virtual, y cubre un área de 25x25 km^2

Costes de instalación

El cálculo de los costes de instalación se ha realizado en base a estimaciones teniendo en cuenta los módulos y sensores a instalar. En este sentido, los costes de instalación estimados estarían alrededor de 8-9M€. Concretamente, estos sistemas requieren de la instalación de modelos climáticos (6M€), modelos de predicción de precipitaciones (1-2M€) e instalación de sensores pluviométricos (750k€).

Costes de operación

En cuanto a los costes de operación, estos costes se pueden estimar en 150k€ anuales. Esta cantidad incluye los costos de mantenimiento de sistemas, algoritmos y red de sensores pluviométricos necesarios para el cálculo de los umbrales (100k€), mantenimiento en la nube (entre 1.300€ y 2.500€ al año) y finalmente, expertos en análisis y categorización de los eventos de lluvia y corrimientos de tierra (entre 30.000€ y 50.000€ anuales).

Aceptación social

La implantación y los resultados derivados de esta tecnología tendrán una aceptación social alta debido a que este tipo de herramientas ayudará a la elaboración de planes para eventos de desprendimientos de tierras alineados con eventos de lluvia intensa. Estos episodios son derivados de los efectos del cambio climático en nuestra geografía. Es por ello, que estos sistemas tendrán un impacto en la sociedad de reducción de los costes de materialización de estos eventos, así como reducir la mortalidad causada por los mismos.

Destinatarios

- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel regional

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones
- Fuertes precipitaciones
- Variabilidad pluvial y/o hidrológica

[66] Tapiador, F.J.; Villalba-Pradas, A.; Navarro, A.; García-Ortega, E.; Lim, K.-S.S.; Kim, K.; Ahn, K.D.; Lee, G. Future Directions in Precipitation Science. Remote Sens. 13, 1074. (2021)

- Erosión del suelo

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

La solución presentada ayuda a la minimización de los impactos causados por la aparición de corrimientos de tierra causados por episodios de lluvia intensa. Por lo tanto, esta solución se enmarca en las tecnologías de adaptación al cambio climático. Teniendo en cuenta este aspecto, este tipo de soluciones permitirá, a largo plazo, la elaboración de planes de riesgos derivados de la afectación del cambio climático mediante la predicción de episodios de lluvia con una mayor resolución un horizonte temporal más elevado. Esto beneficiará a la realización de planes de adaptación en las diferentes regiones montañosas y costeras donde se instale este tipo de tecnología.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Italia	IRPI	2018	Demostración del sistema de S2MRAIN-ASCAT a una escala de país mediano para la predicción de lluvias y umbrales de escorrentía.
Región de Liguria	IRPI	2018	Demostración del sistema de predicción de lluvia (CTRL-T) en la región de Liguria (5.410km^2).
Rio de Janeiro	Universidad de Salerno	2018	Demostración de TELEWs en la región de Rio de Janeiro como medio para sensibilizar y determinar alertas operacionales sobre desprendimientos de tierras.
Rio Nilo	Universidad Debre Tabor	2020	Aplicación de modelos satelitales de la ESA, combinado con una red de sensores de pluviometría para la predicción de los eventos mencionados.
China	Universidad de Nanjing	2020	Aplicación de los modelos de SREM2D para las correcciones de las predicciones de las precipitaciones.
India	Amrita School	2020	Demostración de LEWS como herramienta para la detección de eventos usando SVM.
India	IRPI	2021	Demostración del sistema de S2MRAIN-ASCAT a una escala de país con gran extensión para la predicción de lluvias y umbrales de escorrentía.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Gestores de cuencas hidrográficas
- Empresas proveedoras de tecnología digital
- Empresas de Inteligencia Artificial y Modelización
- Organismos de investigación relacionados con el agua

4.3.2 Agua

4.3.2.1 Jardines de lluvia

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agua
- Urbanismo y edificación
- Biodiversidad y patrimonio natural

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Los jardines de lluvia son una técnica de drenaje urbano sostenible capaz de capturar el agua de lluvia antes de que llegue a la red de alcantarillado. Otros nombres comunes para los jardines de lluvia son cuencas de biorretención o cuencas vegetadas.

Descripción básica

Uno de los efectos esperados del cambio climático es el aumento en la variabilidad de las precipitaciones, que provocará lluvias torrenciales más extremas y frecuentes. Esta tendencia hace que los sistemas de drenaje urbano y tratamiento existentes lleguen a su límite de capacidad con mayor frecuencia. En este contexto, los jardines de lluvia ofrecen una herramienta para reducir la presión sobre los sistemas de drenaje urbano.

Los jardines de lluvia se componen de un lecho ajardinado hundido capaz de recoger y tratar la escorrentía de las aguas pluviales procedentes de tejados, calzadas, aceras, aparcamientos y calles. Estas zonas ajardinadas con forma de cuenca están diseñadas para captar la escorrentía, asentar y filtrar los sedimentos y contaminantes. La escorrentía se canaliza o dirige hacia la cuenca, donde se almacena temporalmente hasta que se filtra lentamente en el suelo.



Figura 8**.** Vista general de un jardín de lluvia. Fuente. Biblus.

Los jardines de lluvia se clasifican en dos tipos: los jardines de infiltración y los jardines de filtración[67].

Los jardines de infiltración permiten que la escorrentía pase a través de una serie de capas de capas drenantes y sedimentos, dispersando agua en el terreno y controlando así los volúmenes de escorrentía. Es recomendable incluir una capa de drenaje de árido grueso que impida el lavado/erosión de los materiales del jardín de lluvia.

Por su lado, los jardines de filtración también hacen que el agua de escorrentía pase a través de la cubierta vegetal y de las capas medias de suelo del jardín de lluvia. Sin embargo, en este caso, el agua es recogida en una tubería y conducida a un punto de vertido aprobado.

Información adicional sobre las opciones de diseño y detalles constructivos se pueden encontrar en el "Manual de Retención" publicado por el Departamento de Recursos Medio Ambientales del Condado de Maryland (EE.UU), en "La Guía de los Jardines de Lluvia de Oregón" publicada por la Universidad de Oregón (EE.UU), en la guía "Diseñando Jardines de Lluvia: Una Guía Práctica" publicada Por *Urban Design London*, la guía "Jardín de lluvia. Diseño e instalación" y el la "Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Libres" editada por el Ayuntamiento de Madrid.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Permiten tratar el agua de escorrentía, no solo retenerla. • Favorece el hábitat para animales y plantas. • Regula las oscilaciones térmicas. • Previene la erosión.	• Tienen limitaciones para laminar los volúmenes de agua generados por lluvias muy intensas. • La erosión de la instalación puede ser complicada de controlar. • Si no se diseñan adecuadamente pueden generar olores o plagas.

Potenciales barreras para su implementación

Según Andrés-Doménec et al. (2021)[68] las principales barreras en España a la implementación de los sistemas de drenaje urbano, como los jardines de lluvia, son:

- Ausencia de un conjunto de regulaciones o guías para su implementación a escala nacional.
- Resolución técnica de problemas de colmatación y disminución de la capacidad de infiltración.
- Falta de participación, conocimiento y capacidad organizativa.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Se puede decir que, aunque los jardines de lluvia siguen siendo objeto de investigación y desarrollo, su funcionamiento básico se conoce y existen múltiples guías y recomendaciones para su diseño e instalación. En la actualidad ya hay empresas especializadas en su instalación, aunque su uso no está ampliamente generalizado.

Avances esperados o deseables en los próximos años

En los últimos años gran parte de los esfuerzos referentes a este tipo de soluciones de gestión del agua de lluvia se centran en la búsqueda de enmiendas orgánicas y materiales que mejoren

[67] Cahill, M., Godwin, D. C., & Tilt, J. H. Rain Gardens: Low-impact development fact sheet. LOW-IMPACT DEVELOPMENT FACT SHEET, Oregon State University, June. (2018)

[68] Andrés-Doménech, I.; Anta, J.; Perales-Momparler, S.;Rodriguez-Hernandez, J. Sustainable Urban Drainage Systems in Spain: A Diagnosis. Sustainability. 13. (2021)

el poder descontaminante de estos sistemas[69]. De este modo, por ejemplo, Wan et al. (2018)[70] probaron que el uso de astillas de madera como elemento filtrante eliminaba hasta el 55% del nitrógeno total presente en el agua de escorrentía.

Resultados esperables

Uno de los resultados esperables de la instalación de estos sistemas es una reducción de la escorrentía absorbida por los sistemas de drenaje y posterior tratamiento. Dependiendo de la escala del jardín se puede llegar a una reducción considerable de costes de tratamiento de aguas grises. Por otro lado, estos espacios son un hábitat para especies que difícilmente podrían sobrevivir en zonas intensamente urbanizadas. También son espacios para el disfrute de los vecinos, que incluso pueden participar de su construcción o mantenimiento, con el valor añadido como elemento educativo y de concienciación social.

Costes de instalación

Los costes de instalación varían dependiendo de las condiciones del suelo, la extensión y del tipo y densidad de las plantas que se quieran usar. La Alianza del Jardín de Lluvia de los Tres Rios ("*Three Rivers Rain Garden Alliance*") facilita una calculadora con la que estimar las características y el coste aproximado de la instalación de un jardín de lluvia. Esta calculadora está fundamentalmente enfocada para particulares que quieran instalar un jardín de lluvia en su parcela.

Para proyectos de mayor escala, como puede ser la instalación de un jardín de lluvia o zona verde en una ciudad, el Ayuntamiento de Madrid publicó una "Guía Básica de Diseño de Sistemas Sostenibles de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos" en la que analiza el coste medio aproximado de los jardines de lluvia, dando un rango orientativo de entre 30 y 200 €/m^2.

Costes de operación

Los costes de manteamiento van en función de las dimensiones y complejidad del jardín. Según la guía práctica "Diseñando Jardines de Lluvia" las labores de mantenimiento durante los dos primeros años del jardín son las más intensas. Estas incluyen el riego frecuente, la limpieza de malas hierbas y basuras, la poda, la limpieza de filtros y canalizaciones y la aplicación de enmiendas y abonos. Durante los años siguientes las labores serán las mismas, limitando el riego y las enmiendas, así como la frecuencia del resto de actividades.

La "Guía Básica de Diseño de Sistemas Sostenibles de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos" establece unos costes de mantenimiento medio de entre 1,5 y 4,9 €/(m^2·año).

Aceptación social

En principio, este tipo de infraestructuras tienen gran aceptación ya que implican la generación de un espacio ajardinado. Sin embargo, si no se construyen adecuadamente, pueden generar olores o plagas, produciendo el efecto contrario.

Destinatarios

- Ayuntamientos
- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel local
- Empresas con instalaciones industriales que impliquen la gestión de aguas

[69] Gilbreath, A.; McKee; L.; Shimabuku, I.; Lin, D., Werbowski; L. M., Zhu; X., Grbic, J. & Rochman, C. Multiyear Water Quality Performance and Mass Accumulation of PCBs, Mercury, Methylmercury, Copper, and Microplastics in a Bioretention Rain Garden. Journal of Sustainable Water in the Built Environment, 5(4). (2019)

[70] Wan, Z., Li, T., & Liu, Y. (2018). Effective nitrogen removal during different periods of a field-scale bioretention system.

- Asociaciones de vecinos
- Particulares

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Variabilidad pluvial y/o hidrológica
- Fuertes precipitaciones
- Erosión del suelo

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Los jardines de lluvia reducen la escorrentía superficial aumentando en algunos casos la recarga del acuífero subyacente, y disminuyendo la erosión superficial. Son por tanto un mecanismo de mitigación de los efectos de aumento de eventos climáticos/meteorológicos extremos, como lluvias cada vez más intensas o periodos de sequía cada vez más prolongados. Además, la infiltración del agua de lluvia a través de las capas drenantes elimina patógenos y reduce la concentración de nutrientes, sustancias orgánicas y metales pesados, que de otro modo acabarían directamente en ríos o lagos comprometiendo la calidad las aguas superficiales[71].

Por otro lado, en zonas urbanas, reducen la escorrentía hacia los sistemas de alcantarillado permitiendo una mayor adaptación de los sistemas de drenaje urbano al aumento de eventos extremos de lluvia, aumentando la recarga de los acuíferos subyacentes.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
La Atalayuela (Madrid)	Ayuntamiento de Madrid	2019	Parque de 9,40 hectáreas que incluye un complejo de jardines de lluvia capaz de retener 390m^3.
Prologis Park Sant Boi (Barcelona)	TYPSA, Universidad Politécnica de Cataluña	2019	Este parque es capaz de drenar 30 hectáreas, evitando el efecto de las inundaciones rápidas que suelen ocurrir en septiembre y octubre, aumentando la resiliencia del parque industrial *ProLogis*.
West Gorton Park (Manchester)	*Manchester Climate Change Agency*	2020	Este parque amortiguó los efectos de la tormenta Christoph en 2021. El proyecto europeo EU GROW GREEN ayudará a mejorarlo.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ayuntamientos
- Promotores
- Urbanizadores
- Paisajistas
- Asociaciones de vecinos

[71] Shah, S., Venkatramanan, V., & Prasad, R. (2019). Sustainable green technologies for environmental management. Sustainable Green Technologies for Environmental Management, February, 1–303.

4.3.2.2 Humedales artificiales para el tratamiento del exceso de aguas de lluvia y escorrentía

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agua
- Urbanismo y edificación
- Biodiversidad y patrimonio natural

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Los humedales artificiales son un conjunto de zonas húmedas construidas y diseñadas por el hombre que permite la gestión, y en algunos casos la depuración, de las descargas provocadas por el rebose de los sistemas de alcantarillado durante lluvias intensas.

Descripción básica

Uno de los principales efectos del cambio climático es el aumento en la variabilidad pluvial, lo que implicará una mayor frecuencia de lluvias torrenciales. En muchos casos este tipo de eventos meteorológicos producen un flujo excesivo de escorrentía, que puede llegar a superar el caudal máximo capaz de ser tratado por las plantas de aguas residuales[72].

En consecuencia, parte de este exceso es vertido directamente a las aguas superficiales afectando a su calidad. La gestión de estos excesos se puede hacer mediante infraestructuras grises, como tanques subterráneos que acaban redirigiendo los excesos de vuelta a las plantas de tratamiento, o con lo que se denominan infraestructuras verdes, como los humedales artificiales, capaces de tratar de forma natural gran parte de los contaminantes presentes.

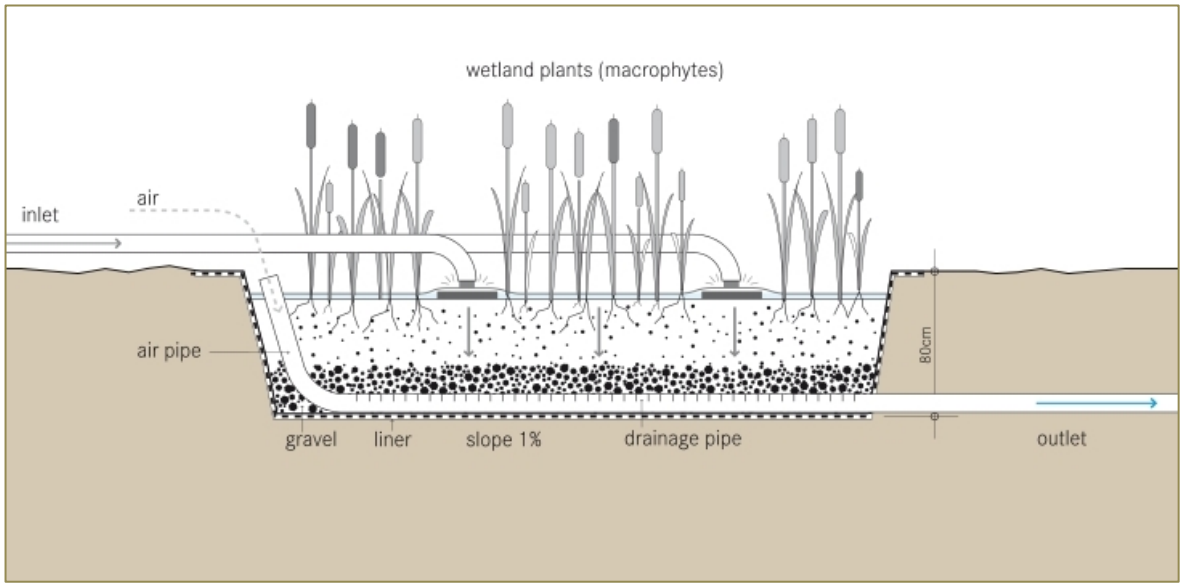


Figura 9. Esquema de humedal construido de flujo subsuperficial vertical. Fuente: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology Technical drawings.

[72] Daniel Meyer, Pascal Molle, Dirk Esser, Stéphane Troesch, fabio Masi, Katharina Tonder, Johannes Pinnekamp &Ulrich Dittmer. (2014). Constructed Wetlands for Combined Sewer Overflow Treatment. Sustainable Sanitation Practice, Issue 18/2014.

Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que se reproducen, de manera controlada, los procesos físicos, químicos y biológicos de eliminación de contaminantes que ocurren normalmente en los humedales naturales[73].

Existen diferentes tipos de humedales artificiales dependiendo de la dirección del efluente. De este modo, podemos diferenciar entre humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial, y entre estos últimos, de flujo horizontal y de flujo vertical[74]. Elementos comunes a todos los humedales suelen ser la presencia de un sustrato granular que facilite la infiltración del agua y la fijación de plantas y bacterias, la presencia de vegetación que contribuye a la oxigenación, la eliminación de nutrientes y el desarrollo de bacterias, y el efluente que circula a través del sistema.

Por otro lado, podemos diferenciar entre humedales artificiales para tratamiento, que incluyen sistemas de tratamiento con lechos de caña o filtros de suelos con plantas; y humedales artificiales de filtración, que consisten en cuencas rellenas de medios filtrantes como arenas o grava y con vegetación que tolera las condiciones de saturación[75].

Uno de los casos estudiados a escala real de un humedal artificial para el tratamiento del exceso de descargas de sistemas unitarios, es el de Gorla Maggiore en Italia[76]. En este caso, el sistema está compuesto de un conjunto de humedales artificiales, que incluye: a) una zona de eliminación de contaminantes con una rejilla, un tanque de sedimentación y 4 lagunas de flujo subsuperficial vertical; b) una laguna de flujo superficial con múltiples funciones, como la retención de la contaminación, la amortiguación para eventos de inundación, el mantenimiento de la biodiversidad y el recreo; y c) un parque recreativo reforestado con vegetación ribereña. Con esta infraestructura el humedal artificial de Gorca Maggiore puede tratar hasta 640 l/s generados por un evento de lluvia de 10 mm/h. Todo lo que exceda este volumen se desvía hacia el humedal superficial de agua libre adicional.



Figura 10. Lago Gorla Maggiore, Italia. Fuente: IRIDRA.

[73] MON arquitectura + biología. Los humedales artificiales: Componentes y tipos. iAgua.

[74] Global Wetland Technology. "Treatment Wetlands – Constructed Wetlands".

[75] AquaNES (2019). Combining constructed wetlands and engineered treatment for water reuse. Project deliverable D.3.1.

[76] Masi, F., Rizzo, A., Bresciani, R., & Conte, G. (2017). Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment: Ecosystem services at Gorla Maggiore, Italy. Ecological Engineering, 98, 427–438.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Capaz de biodegradar o inmovilizar contaminantes emergentes mejor que infraestructuras grises. • El almacenamiento permanente de agua en las capas profundas del humedal mejora la resiliencia del ecosistema frente a sequias. • Pueden proporcionar una zona de uso recreativo. • Mejora la conectividad de los ecosistemas urbanos. • Ofrece protección frente a inundaciones y avenidas. • Necesita poco mantenimiento. • Genera pocos residuos y lodos.	• Puede ser necesario un post tratamiento para cumplir con las regulaciones de reutilización de aguas[77]. • Puede haber problemas a largo plazo de colmatación, generando una reducción de la permeabilidad. • Limitaciones en la eliminación de algunos compuestos. • En climas muy fríos la degradación biológica puede reducirse, lo que reduciría la capacidad del sistema para asimilar nitrógeno[75].

Potenciales barreras para su implementación

Las potenciales barreras de la implantación de los humedales artificiales para el tratamiento de descargas de sistemas unitarios es el desconocimiento de las administraciones de este tipo de sistemas, la necesidad de involucrar a distintos actores sociales, ya que suelen ser infraestructuras que tienen implicaciones en el uso de espacios públicos, o la necesidad de cumplir con la legislación sobre vertido de aguas que puede implicar la instalación de sistemas adicionales de tratamiento generando costes adicionales.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Existen múltiples casos de humedales artificiales implementados por todo el mundo. Sin embargo, no hay tantos casos reales de tratamiento de descargas de sistemas unitarios sobrevenidas por el desbordamiento de los sistemas de alcantarillado de los que haya datos sobre el rendimiento de los tratamientos. Aun así, se puede decir que es una tecnología muy madura, aunque se siguen investigando sus limitaciones y posibles mejoras.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Es de esperar que el aumento de casos de estudios a escala real mejore la información sobre la eficacia de los sistemas y sus limitaciones o factores a mejorar. Algunos de los temas que necesitan ser investigados son:

- Combinación de diferentes medios filtrantes.
- Límites de retención de diferentes contaminantes.
- Efectos sobre la permeabilidad.
- Riesgo de generación de atajos en el flujo de agua que reducen la capacidad de tratamiento del medio.
- Optimización de los tiempos de permanencia.

Resultados esperables

Es de esperar que la demanda bioquímica y química de oxígeno, indicadores de la presencia de contaminación orgánica, se reduzca más de un 80% y 60% respectivamente. Los solutos disueltos y el nitrógeno total podrían disminuir más de un 50%. En el caso del fósforo total y los coliformes totales, la eficiencia es mucho más variable rondando de media un 50%.

[77] Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Pisoeiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. Science of the Total Environment, 711, 134731.

Costes de instalación

Los costes de construcción de una instalación de este tipo varían mucho. Como indicación se pueden tomar los valores proporcionados por Tao et al. (2014)[78] para varios humedales artificiales construidos con el objetivo de amortiguar y tratar la descarga de sistemas unitarios en EE.UU. El coste unitario del sistema de humedales en la ciudad de Washington (EEUU) fue de 2 €/m^3 comparado con 4 €/m^3 que hubiera costado la construcción de un sistema de tratamiento clásico para la separación y tratamiento físico/químico de este exceso puntual. El humedal artificial en Harbor Brook (EE. UU) tuvo un coste total de 3,8M € y fue diseñado para tratar 56.000 m^3/año de aguas de desborde de alcantarillado. Asumiendo una vida útil de 40 años, esto supone un coste de 1,7 €/m^3.

Costes de operación

Los costes de mantenimiento suelen ir asociados al personal, bombas y control de flujos, y rondan los 1,700 €/ha/año[79].

Aceptación social

Este tipo de infraestructuras verdes tienen, por lo general, una gran aceptación social, siempre y cuando estén bien diseñadas y no generen malos olores ni plagas. Proporcionan un espacio natural recreativo y, en muchos casos, se pueden servir de corredores naturales.

Destinatarios

- Ayuntamientos
- Confederaciones hidrográficas
- Instituciones públicas (ministerios o consejerías) encargadas de la planificación de la ordenación del territorio

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Fuertes precipitaciones
- Inundaciones
- Variabilidad pluvial y/o hidrológica
- Protección del medio hídrico frente a presiones por contaminación

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Uno de los principales efectos del cambio climático es el aumento en la frecuencia e intensidad de lluvias torrenciales. Cuando uno de estos eventos se produce, se genera escorrentía que arrastra contaminación difusa. Durante estos episodios los sistemas de alcantarillado y tratamiento no son capaces de absorber el exceso de efluente debido a la escorrentía, con lo que en muchos casos se descarga directamente a las aguas superficiales.

Los humedales artificiales son una alternativa barata e integrada con la naturaleza a la depuración de aguas grises que de otro modo implicarían sobredimensionar los sistemas de drenaje y depuración de las zonas urbanas. Además, son una herramienta de protección contra inundaciones y avenidas, en el caso de estar situadas cerca de zonas fluviales.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

[78] Wendong Tao, James S. Bays, Daniel Meyer, Richard C. Smardon and Zeno F. Levy (2014) Constructed Wetlands for Treatment of Combined Sewer Overflow in the US: A Review of Design Challenges and Application Status. Water 2014, 6, 3362-3385

[79] K. Gunes, B. Tuncsiper, F. Masi, S. Ayaz, D. Leszczynska, N. Fındık Hecan and H. Ahmad (2011) Construction and maintenance cost analyzing of constructed wetland systems. Water Practice & Technology Vol 6 No 3

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Gorca Maggiore, Italia[76]	IRIDRA proyecto OpenNESS	2012	Sistema de balsas diseñado para tratar el exceso de aguas grises provocado por lluvias torrenciales antes de ser vertido al río Olona. El sistema trata 150.000 m^3/año en un área de unas 3 ha. La zona donde se produce gran parte de la retención y descontaminación incluye un humedal con *Phragmites* y otras especies locales.
Humedales Artificiales-Planta Experimental de Depuración de Carrión de los Céspedes, España	Agencia Andaluza del Agua CENTA		El humedal artificial se usa como tratamiento secundario. Se trata de un humedal artificial de flujo vertical más un humedal artificial de flujo horizontal. El humedal artificial de flujo vertical tiene una superficie de 317 m^2, una profundidad media de 0,6 m, y una pendiente de fondo del 1 %. La impermeabilización se hizo con lámina plástica de polietileno de alta densidad de 2,5 mm de espesor. Usa como sustrato gravilla y tienen plantadas *Phragmites australis*. El humedal artificial de flujo horizontal tiene una superficie de 207 m^2, con una profundidad media de 0,8 m. Por lo demás, tiene la misma estructura que el anterior. Trata un caudal del 15 m^3/día.  (Fuente fotografía: Depuración de Aguas del Mediterráneo)
Washington, EE. UU	Bernardin, Lochmueller & Associates Inc.	2011	Este sistema se construyó para responder a la necesidad de tratar los desbordamientos de alcantarillado producidos por eventos de lluvia de más de 250 mm. El sistema de tratamiento de humedales consiste en una caja deflectora de nutrientes, un estanque de 15.120 m^3, un humedal serpenteante, un filtro de grava y un sistema de desinfección UV en el desagüe.
Carimate, Italia	IRIDRA EDAR de Carimate	2018	Sistema para el tratamiento del desbordamiento de alcantarillado consistente en una primera etapa que consiste en dos lechos para la infiltración vertical, cada uno de ellos dividido a su vez en 2 sectores hidráulicos separados para una superficie total de 8.500 m^2. La segunda etapa es un humedal de superficie de agua libre de 4.500 m^2. El sistema trata 500.000 m^3/año, el 58% de todo el desbordamiento producido.
Marrakech, Marruecos[80]		2015	Reutilización de aguas grises para el riego de zonas verdes. El sistema es capaz de tratar 1,2 m^3/día.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Consejerías de medio ambiente
- Administraciones locales
- Confederaciones hidrográficas
- Empresas gestoras de la red de drenaje urbano.
- Empresas especializadas en el diseño y construcción de humedales artificiales

[80] Laaffat, J., Ouazzani, N., Mandi, L.,The evaluation of potential purification of a horizontal subsurface flow Constructed Wetland treating greywater in semi-Arid environment, Process Safety and Environment Protection (2015).

4.3.2.3 Adaptación de los reglamentos operacionales de embalses

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agua
- Energía

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la Información" - TI

Solución / Tecnología

Metodologías para la adaptación a los efectos del cambio climático de los protocolos de operación de embalses (almacenamiento y suelta).

Descripción básica

Los embalses son estructuras fundamentales para la regulación de los caudales de los ríos, y que afectan a la disponibilidad de agua de múltiples sectores. Además, en muchos casos, son infraestructuras que generan energía. De hecho, se encuentran en el estratégico nexo agua-energía- alimentación- medio ambiente. Por otro lado, son unas de las infraestructuras de generación de energía y gestión de aguas superficiales más expuestas a los efectos del cambio climático. La generación de energía hidroeléctrica se ve afectada por el aumento de la variabilidad de las precipitaciones y la consecuente reducción en la disponibilidad de agua. Además, la producción de energía también depende de la disponibilidad del recurso para otros usos, en muchos casos de mayor prioridad, como el abastecimiento doméstico, uso agrícola o los caudales ecológicos mínimos. Cabe esperar, por tanto, que el cambio climático dificulte la toma de decisiones sobre cómo y cuándo liberar o almacenar agua.

Tradicionalmente los periodos de vaciado y almacenamiento se han regulado mediante los denominados reglamentos de operación, utilizados para gestionar la incertidumbre de los flujos de entrada[81]. Los reglamentos operacionales se diseñan para mitigar las diferencias de disponibilidad de agua entre periodos secos y húmedos a lo largo del año, almacenando durante el periodo húmedo y librando caudal durante el periodo seco. Estos reglamentos se diseñan normalmente teniendo en cuenta una estacionalidad a largo plazo de los flujos de entrada, lo que implica un funcionamiento ineficiente bajo condiciones de cambio climático. La mejora de los protocolos de operación de embalses es, por tanto, una estrategia de adaptación al cambio climático fundamental.

Esta mejora puede enfocarse desde dos puntos. El primero, la identificación del momento en el que los protocolos actuales de un embalse no funcionarán adecuadamente, teniendo en cuenta las previsiones de cambio climático. Por otro lado, la utilización de modelos predictivos y estrategias para hacer que los protocolos sean dinámicos y permitan una optimización de los objetivos de funcionamiento del embalse. Ambas estrategias son complementarias.

[81] Feng, M., Liu, P., Guo, S., Shi, L., Deng, C., & Ming, B. (2017). Deriving adaptive operating rules of hydropower reservoirs using time-varying parameters generated by the EnKF. Water Resources Research, 53(8), 6885–6907.

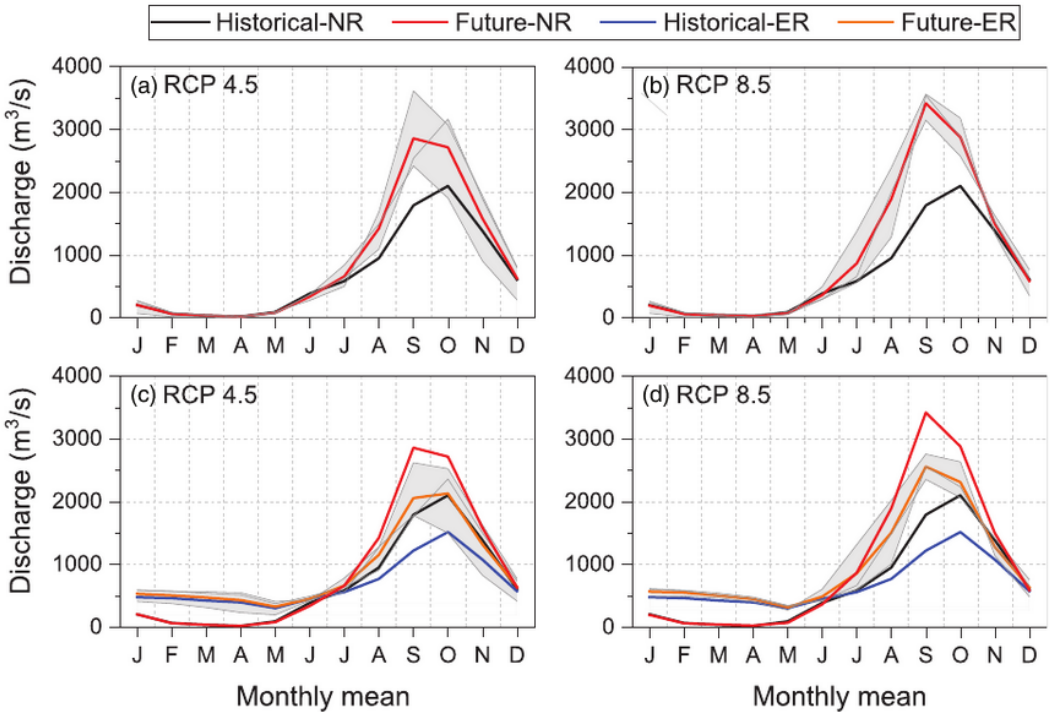


Figura 11. Ejemplo de aplicación de modelos predictivos para comparar la descarga anual bajo protocolos actuales (ER) y sin protocolos (NR) en distintos escenarios basados en datos históricos y predicciones (futuros). Fuente: Padiyedath Gopalan, S, et al., 2020.

Uno de los primeros pasos para decidir si es necesario hacer inversiones en la adaptación de los protocolos de operación de un embalse, es saber cuándo y cómo estos protocolos serán obsolescentes. Esto permite hacer un uso eficaz y razonado de los recursos disponibles. Un método que recientemente ha sido publicado[82] consiste en el uso de un *marco de fiabilidad-resiliencia-vulnerabilidad*[83] con un conjunto de *Modelos de Circulación General*[84] bajo los cuatro escenarios de las *Trayectorias de Concentración Representativas*[85] para comparar el rendimiento histórico y futuro del embalse a largo plazo bajo sus protocolos de operación actuales.

El método usa varias herramientas para relacionar datos climáticos, hidrológicos, del sistema de almacenamiento y su funcionamiento. Primero, un modelo hidrológico con datos climáticos se calibra con datos históricos para ser capaz de incluir en el análisis cómo el cambio climático afecta a la entrada de agua en el sistema. Por otro lado, se aplica una serie de índices de

[82] Chadwick, C., Gironás, J., Barría, P., Vicuña, S., & Meza, F. (2021). Assessing reservoir performance under climate change. When is it going to be too late if current water management is not changed? Water (Switzercrísoland), 13(1).

[83] El *marco de fiabilidad-resiliencia-vulnerabilidad* es un enfoque por el que el rendimiento de un sistema puede describirse desde tres puntos de vista diferentes. La frecuencia con la que falla el sistema, es decir la fiabilidad. La rapidez con la que el sistema vuelve a un estado satisfactorio una vez que se ha producido un fallo, es decir, la resiliencia. Y la importancia de las posibles consecuencias de un fallo, es decir, la vulnerabilidad (Hashimoto et al. (1982) Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. Water Resour. Res.)

[84] Los Modelos de Circulación General representan los procesos físicos de la atmósfera, el océano, la criósfera y la superficie terrestre. Se usan habitualmente para simular la respuesta del sistema climático mundial al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. (IPCC)

[85] Las Trayectorias de Concentración Representativas son escenarios que incluyen series temporales de emisiones y concentraciones de todo el conjunto de gases de efecto invernadero y aerosoles, y gases químicamente activos, así como el uso y la cobertura del suelo. La palabra representativa significa que cada Trayectoria proporciona sólo uno de los muchos escenarios posibles que llevarían a las características específicas de forzamiento radiactivo. El término trayectoria pone de relieve que no sólo interesan los niveles de concentración a largo plazo, sino también la trayectoria seguida a lo largo del tiempo para llegar a ese resultado. (IPCC)

rendimiento para evaluar los posibles protocolos de operación. Finalmente, se identifica el momento en el que los protocolos actuales fallarán respetando la información relativa a la incertidumbre asociada a los escenarios futuros. Este dato ayuda a la planificación, priorización y calendario de implementación de las alternativas realistas de adaptación al cambio climático, mejorando la eficiencia en la producción eléctrica y la conciliación con el resto de los usos.

El segundo enfoque es la implementación de reglamentos adaptativos de operación, en los que se intenta optimizar los periodos de vaciado y almacenamiento, para cubrir de la forma óptima posible los diferentes usos del agua, teniendo en cuenta modelos predictivos con escenarios de cambio climático[86].

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Se trata de estrategias de implementación que no requieren de una inversión grande. • Suponen una alternativa a la modificación de infraestructura o creación de nuevas. • Existen fondos verdes que pueden estar interesados en invertir en energías renovables como la hidroeléctrica, lo que implicaría invertir en la adaptación de los protocolos de operación de presas para mejorar su rendimiento. • Se puede complementar con mejores modelos cómo los alerta temprana.	• Requiere de conocimientos muy técnicos para su implantación. • No existe una única metodología para la adaptación de protocolos de operación de presas. Esto puede reducir la confianza en la solución y dificultar su implantación.

Potenciales barreras para su implementación

- Se requiere de conocimientos muy técnicos para la implementación de este tipo de estrategias, lo que implica involucrar a organizaciones o consultorías especializadas.
- Existen muchas metodologías nuevas, por lo que puede ser complejo elegir una o encontrar varios casos de estudio aplicando la misma.
- La movilización de la inversión para implantar este tipo de estrategias puede ser difícil.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 5)

El conjunto de métodos y enfoques que existe en lo que podemos denominar adaptación de protocolos de operación es amplio y existen muchos casos de estudio que aplican múltiples variantes del mismo enfoque. No existe, por tanto, una única metodología que se haya replicado en muchos casos. Sin embargo, son métodos que ya se están testando y aplicando en casos reales, y que ayudan a proporcionar información científica adecuada a las necesidades de los gestores y profesionales del agua.

Por ejemplo, identificar el momento en el que el rendimiento de las actuales normas de explotación de los embalses empeorará significativamente debido al cambio climático es algo que se está investigando actualmente. En este caso, la novedad es la forma de presentar este factor de riesgo en términos de tiempo y de preservar la información sobre la incertidumbre, de tal modo que los gestores puedan adecuar los protocolos de operación.

Avances esperados o deseables en los próximos años

[86] Zou, H., Liu, D., Guo, S., Xiong, L., Liu, P., Yin, J., Zeng, Y., Zhang, J., & Shen, Y. (2020). Quantitative assessment of adaptive measures on optimal water resources allocation by using reliability, resilience, vulnerability indicators. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 34(1), 103–119.

El reto de estas estrategias es la integración de procesos físicos, químicos y ecológicos, con los efectos económicos de las estrategias de operación de los embalses. Así mismo, se espera que en los próximos años nuevas herramientas como los modelos integrados o la inteligencia artificial se apliquen para mejorar las predicciones en las que se basan las estrategias de gestión[87], generando, por ejemplo, reglamentos dinámicos que se adapten en tiempo real a las predicciones de caudales, usos y consumo energético.

Resultados esperables

Los resultados esperables son difíciles de cuantificar debido a la novedad de estas metodologías y la escasez de casos prácticos de su aplicación a largo plazo. Es esperable que su aplicación mejore la eficiencia de las operaciones de suelta y almacenamiento, la conciliación de los diferentes usos del agua (hidroeléctrico, agrícola, ambiental, lúdico, abastecimiento urbano, etc.) así como la reducción del riesgo a largo plazo[87].

Costes de instalación

Debido a la escasez de casos estudios sobre una misma metodología, no existen estimaciones de los costes de implantación. Como dato orientativo podemos tomar la cifra ofrecida en la "Guía metodológica para el análisis y priorización de medidas de adaptación al cambio climático" [88], donde se valoró el coste de implantación de un programa de predicción meteorológica y climática para la gestión de los embalses de La Cala (provincia de Sevilla), El Tranco de Beas y la central de Mengíbar, estas dos últimas en la provincia de Jaén. Las centrales de Cala y El Tranco son centrales de embalse, y la liberación de caudales en estas instalaciones está condicionada a las necesidades de suministro de agua urbana y riego aguas abajo. El embalse de Cala tiene una capacidad de 59 hm^3, y cubre una superficie de 437 ha. El embalse de El Tranco tiene una capacidad de 498 hm^3, y cubre una superficie de 1.800 ha. Por su lado, la central de Mengíbar es una central fluyente sin capacidad de regulación. Tiene una capacidad de embalse de unos 2,4 hm^3 que cubre unos 79 ha. Se estimó que el coste de implantar un programa de predicción meteorológica y climático para la gestión de los embalses supondría unos 190.000 €.

Costes de operación

Una vez implantada la metodología la principal actividad que se requeriría es el seguimiento de la incertidumbre de los resultados y calibración continuada la de los modelos predictivos. Esto implica gastos en personal dedicado a esta actividad de seguimiento y mantenimiento, así como su formación continuada y el mantenimiento de los software y equipos usados.

Aceptación social

No existe a priori ningún agente u organización que pudiera posicionarse en contra de la implantación de este tipo de metodologías. Sin embargo, es posible que, si los resultados de dicha metodología afectan negativamente a la disponibilidad de agua de algún sector por un cambio en la priorización de los usos, éste se posicione negativamente.

Uno de los usos que se puede ver beneficiado es el caudal ecológico, ya que podemos ajustar los protocolos de forma dinámica para poder maximizar los volúmenes de suelta destinados a mantener el caudal ecológico del río, mientras que se maximizan las sueltas por ejemplo para la producción energética en determinados momentos de más valor.

Destinatarios

[87] Fu, G., Ni, G., & Zhang, C. (2019). Recent advances in adaptive catchment management and reservoir operation. Water (Switzerland), 11(3), 1–7.

[88] Solaun, K., Gómez, I., Urban, J. Gómez, J.C. (2016). Integración de la adaptación al cambio climático en la estrategia empresarial. Guía metodológica para el análisis y priorización de medidas de adaptación al cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

- Confederaciones hidrográficas
- Empresas hidroeléctricas
- Comunidades de regantes
- Empresas explotadoras de la infraestructura

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Variabilidad pluvial y/o hidrológica
- Inundaciones
- Fuertes precipitaciones
- Sequías

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Los embalses son infraestructuras fundamentales para el suministro de agua y el riego, especialmente en las regiones semiáridas y áridas. Se prevé que el rendimiento de los embalses, con respecto a producción energética y almacenamiento y disponibilidad de agua, empeore con los efectos del cambio climático: cambios en los patrones de precipitación, aumento de la temperatura y por tanto un aumento de la evaporación e incremento de la frecuencia e intensidad de las inundaciones y sequías.

En cuanto a la producción hidroeléctrica, la tendencia del producible hidroeléctrico en España es a disminuir (0,81 % de la media). Las precipitaciones se han reducido en valores medios entre 50 y 60 mm por año. Y los ratios que se están obteniendo muestran que una reducción de un 1 % en la precipitación, supone una reducción de entre el 3,5 y el 4 % del producible hidroeléctrico[89].

Para atajar estos problemas construir nuevas infraestructuras no es siempre posible ni deseable, especialmente si existe la posibilidad de mejorar el rendimiento de las existentes adaptándolas a los efectos del cambio climático. Por ello, es necesario aplicar metodologías para prever adecuadamente los fallos de funcionamiento y rendimiento de embalses que permitan adecuar sus protocolos de operación.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Embalse de Paloma, cuenca de Limarí, Chile	Universidad de Chile; Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres, Chile; Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Chile	2021	Se aplicó un método para la evaluación del tiempo máximo para el que los protocolos de operación del embalse eran adecuados teniendo en cuenta los escenarios futuros de cambio climático. El estudio[90] concluyó que los protocolos deberían cambiarse a lo largo de las siguientes décadas.
Caso de estudio Centrales de Cala y El Tranco, España	Endesa	2016	Este es un caso de estudio usado para la evaluación de la adaptación al cambio climático del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Una de las actividades evaluadas era la implantación de un programa de predicción meteorológica y climática y gestión de embalses, con el objetivo de incrementar la producción de las centrales hidroeléctricas mediante la

[89] Herrero, R. Sobre los embalses y el cambio climático. iAgua.

[90] Chadwick, C., Gironás, J., Barría, P., Vicuña, S., & Meza, F. (2021). Assessing reservoir performance under climate change. When is it going to be too late if current water management is not changed? Water (Switzerland), 13(1).

Lugar	Responsable	Año	Descripción
			mejora de la gestión del embalse, a través de nuevos modelos matemáticos de predicción.
Lake Urmia, Iran	Amirkabir Universidad de tecnología de Teherán	2019	La presa de Boukan es la mayor infraestructura construida en el río Zarineh-Roud. El modelo de funcionamiento óptimo adaptativo en tiempo real basado en previsiones para el embalse de Boukan maximiza las descargas que alimentan el lago salado, satisfaciendo al mismo tiempo las necesidades de riego, industria y los usos domésticos[91].



Figura 12. Presa de El Tranco. Fuente: Centro de ocio y turismo activo El Tranco.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Operadores de agua
- Compañías hidroeléctricas
- Confederaciones hidrográficas
- Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA)
- Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH-Cantabria)
- Ingenierías especializadas en agua
- Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP)
- Comité Español de Grandes Presas (SPANCOLD)

[91] Gavahi, K., Jamshid Mousavi, S., & Ponnambalam, K. (2019). Adaptive forecast-based real-time optimal reservoir operations: Application to Lake Urmia. Journal of Hydroinformatics, 21(5), 908–924.

4.3.2.4 Medidas de retención natural del agua para la renaturalización de zonas húmedas

(Autores: Mireia Pla Castellana y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agua
- Biodiversidad y patrimonio natural

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución/Tecnología:

Las *Medidas de Retención Natural del Agua* (MRNA) son medidas multifuncionales que pretenden proteger y gestionar los recursos hídricos y abordar los retos relacionados con el agua mediante la restauración o el mantenimiento de los ecosistemas[92].

Descripción básica

El principal objetivo de este tipo de acciones es aumentar la capacidad de retención de agua de los acuíferos, el suelo y los ecosistemas con el fin de mejorar su estado.

Algunas de las medidas más comunes son[93]:

- Reencauzamiento de ríos: Devolver los ríos a su cauce natural, recuperando su carga hídrica.
- Renaturalización del lecho de los arroyos, por ejemplo, repoblar de plantas autóctonas el lecho de los ríos con más impacto urbano.
- Reconexión de arroyos estacionales, mediante, por ejemplo, la prevención de sequías controlando la carga hídrica de los lagos y arroyos que solo fluyen en las estaciones más húmedas (primavera y otoño).
- Renaturalización del material del lecho del río, controlando la sedimentación natural de los lechos de ríos muy urbanizados, transformados en canales urbanos.
- Eliminación de barreras, mediante la eliminación física de sistemas de almacenaje de agua, que también retienen sedimentos, y que impactan directamente en los ecosistemas aguas abajo.
- Estabilización natural de las riberas, mediante la plantación de especies autóctonas que permitan estabilizar riberas y taludes.
- Renaturalización de las zonas de pólder[94], en las que se drena



Figura 13. Canalización (a) y posterior restauración (b) del río Rombach en Fuldera (Suiza). Fotos: Pio Pitsch.

[92] Office International de l'Eau. "*Natural Water Retention Measures*".

[93] Somarakis, G., Stagakis, S., & Chrysoulakis, N. (Eds.). (2019). ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook.

[94] Del neerlandés, polder. Terreno pantanoso ganado al mar y que una vez desecado se dedica al cultivo.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Control de la cantidad y calidad de las aguas de escorrentía. • Disminución de la interferencia en los regímenes naturales de las masas de agua receptoras. • Mejor reaprovechamiento del agua de escorrentía para recarga de los acuíferos. • Disminución del riesgo de inundación. • Disminución del riesgo de erosión y fractura de taludes, y de flujos de lodo. • Incremento del valor añadido de las urbanizaciones, debido a la mejora del paisaje y del entorno. • Mejora de la calidad estética de una zona urbana, creando entornos naturales. • Reducción de la concentración de contaminantes arrastrados por escorrentía que llegan al acuífero. • Mejora de la fauna y la flora de la zona renaturalizada. • Requieren una menor inversión de construcción y, por tanto, se consideran sistemas de drenaje de aguas pluviales de bajo coste.	• Hay una falta de conocimiento en relación con la aplicación de estos sistemas, su durabilidad, el coste general de construcción y de gestión. • La aplicación de estos sistemas conlleva la necesidad de realizar validaciones de diseño y de gestión, que pueden alargarse en el tiempo. • La falta de información específica de su aplicación en distintas zonas climáticas con diferentes patrones pluviométricos. • El rendimiento y la vida útil no se conocen profundamente, por lo que pueden generar desconfianza.

Barreras potenciales para su implementación

La falta de un gran número de experiencias a escala real para disminuir la incertidumbre es una barrera importante a la hora de implementar los sistemas de retención natural de agua. Por otro lado, en muchos casos, el estado del ecosistema o de la zona que se quiere mejorar, no se puede precisar con exactitud. Además, hasta que no se hace la intervención y se recopilan datos para poder hacen comparativas directas que faciliten la diseminación de los resultados en la sociedad, es muy difícil que se aprecien los beneficios del sistema.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 9

Todos los sistemas que se incluyen en las MRNA han sido debidamente estudiados e implementados en muchos países, con problemáticas distintas. Su nivel de innovación se considera ya maduro, pero en muchos casos falta más información durante la toma de decisiones, para que se elija antes la aplicación de un sistema natural, que una infraestructura convencional.

Avances esperados o deseables en los próximos años

El avance más importante que cabría esperar es su aplicación a mayor escala. Esto implica que tanto las personas involucradas en la toma de decisiones como la población en general, elijan antes un MRNA que infraestructuras convencionales.

Resultados esperables

Los resultados esperables de la instalación de estos sistemas son una reducción de la escorrentía absorbida por los sistemas de drenaje y posterior tratamiento. Dependiendo de la escala del sistema esto puede llevar a una reducción considerable de los costes de tratamiento de las aguas de escorrentía. Por otro lado, estos espacios son un hábitat para especies que difícilmente podrían sobrevivir en zonas altamente urbanizadas. También son espacios disfrutables por los vecinos que incluso pueden participar de su construcción o mantenimiento, teniendo un valor añadido como elemento de educación y concienciación en la sociedad.

Costes de instalación

En comparación con las infraestructuras tradicionales, también denominadas grises, las estructuras de retención natural del agua son soluciones rentables cuando se tienen en cuenta los beneficios tangibles e intangibles[95]. También es importante considerar el coste adicional respecto comparado con la instalación de medidas convencionales. Por ejemplo, el Distrito de Saneamiento Metropolitano de Milwaukee (EE.UU.) comparó los costes de instalación de distintas estrategias de drenaje urbano frente a las infraestructuras convencionales.

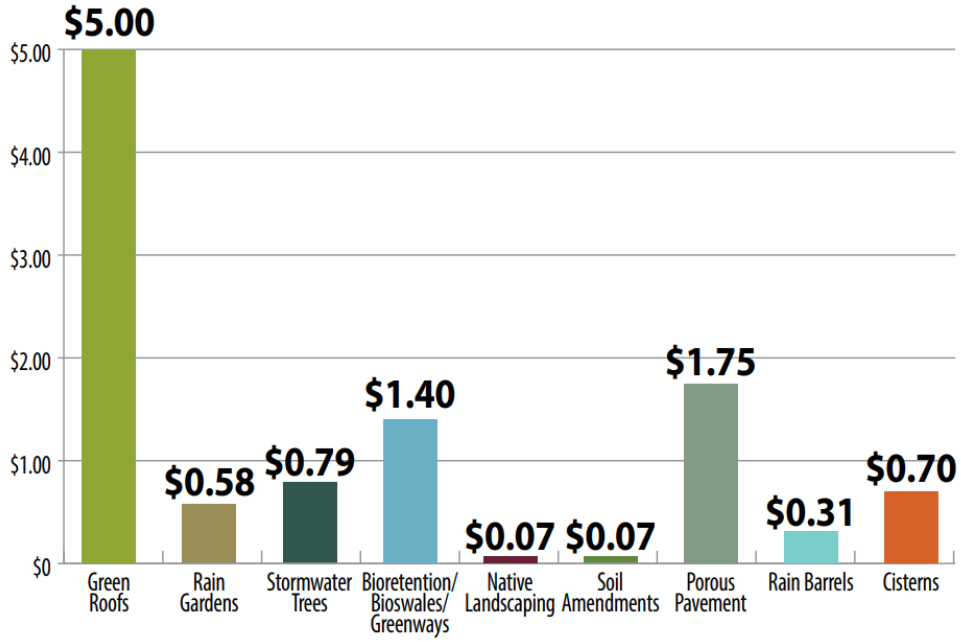


Figura 14. Costes de instalación de MNRA comparadas con costes de infraestructura gris por unidad de superficie (pie cuadrado). Fuente: Milwaukee Metropolitan Sewarage District[96].

No obstante, los costes son altamente variables y dependen de la solución que se plantee. Soluciones de tipo integral serán más costosas que otras de tipo individual. También se deberán tener en cuenta los materiales utilizados (tipo de madera, calidad de las mallas, tipo de plantas y/o árboles plantados, si es necesaria una recuperación inicial del terreno, etc.).

Por ejemplo, en Francia, las agencias de agua otorgan subvenciones para apoyar la implementación de estas medidas. Se ofrecen tasas de subvención más altas para implementar Medidas de Retención Natural del Agua (MRNA) (60-70%) que para infraestructuras convencionales (20-40%).

Costes de operación

Estos están directamente relacionados con el tamaño de la infraestructura y contemplan los cuidados iniciales de las zonas, la contratación de personal eventual, así como los problemas que puedan surgir de forma esporádica. Una vez se considera un *sistema maduro*, los costes relacionados con la gestión de las zonas disminuyen.

El coste económico al adoptar una MRNA es, en muchos casos, suficiente para adoptar uno de estos sistemas. Un ejemplo claro es el pueblo del Belford (EE.UU.), donde se registraban frecuentes inundaciones. En principio se consideró que el coste de la implantación de mejoras convencionales aguas abajo contra las inundaciones era aceptable, alrededor de los 3 M€[97].

[95] Acteon Environment, Office International de l'Eau. Synthesis document n°6 Cost-effectiveness of Natural Water Retention Measures What is the cost-effectiveness of NWRM?

[96] MMSD (Milwaukee Metropolitan Sewerage District), 2013. Regional Green Infrastructures Plan.

[97] EU Technical report 2014-082. EU policy document on Natural Water Retention Measures By the drafting of the WFD CIS Working Group Programme of Measures (WG PoM). 2014–082

Sin embargo, se estimó que la implantación de *Medidas de Retención Natural del Agua* (MRNA) aguas arriba, basadas en medidas de atenuación de la escorrentía, ofrecían el mismo nivel de protección contra inundaciones a un coste inferior (0,25 M€). La eficiencia económica hizo que esta última fuera la mejor alternativa, además de proporcionar la misma protección contra inundaciones mediante la atenuación del flujo, reducir la carga de sedimentos y mejorar sustancialmente la calidad del agua y del ecosistema.

Como en el caso de los costes de instalación, es importante también considerar el coste de operación incremental respecto a las medidas convencionales. En el caso de Milwaukee se observaron costes de operación y mantenimiento incluso inferiores a las estrategias convencionales, poniendo de manifiesto el beneficio de este tipo de estrategias.

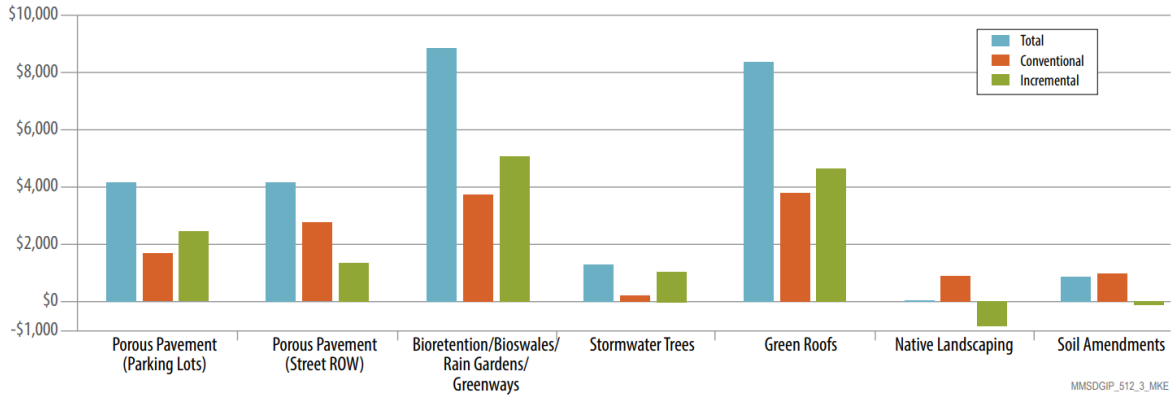


Figura 15. Costes de operación y mantenimiento de MNRA comparadas con costes de infraestructura convencional por unidad de superficie (pie cuadrado). Fuente: Milwaukee Metropolitan Sewarage District[98].

Aceptación social

Este tipo de infraestructuras tienen gran aceptación social ya que implican la generación de un espacio ajardinado en comunidades, ciudades, zonas desnaturalizadas, etc. Sin embargo, su construcción y mantenimiento deben ser los adecuados. Las medidas instaladas deben mantenerse al menos durante los primeros 5 o 10 años, que sería el tiempo estimado de maduración del sistema. Un ejemplo claro es la aplicación de MRNA en la renaturalización de riberas con taludes. Un mal seguimiento de los avances de estos sistemas puede generar problemas futuros como grietas e incluso colapsar, pudiendo generar un problema de salud pública. En zonas ajardinadas, los árboles y las plantas mal cuidadas pueden morir, y se deben reemplazar.

Destinatarios

- Ciudadanos.
- Ayuntamientos.
- Confederaciones hidrográficas.
- Agencias de medio ambiente a nivel regional, nacional e internacional.
- Empresas con instalaciones industriales que impliquen la gestión de aguas, gestión geológica, o urbana.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

[98] MMSD (Milwaukee Metropolitan Sewerage District), 2013. Regional Green Infrastructures Plan.

Las MRNA son estructuras destinadas a la adaptación ante los riesgos climáticos de menores recursos hídricos, aumento de las temperaturas o pérdida de la biodiversidad.

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

El cambio climático está aumentando el riesgo de fenómenos meteorológicos extremos, lo que conlleva un mayor riesgo de inundaciones. En el último siglo, hemos estado construyendo diques artificiales y grandes presas para proteger de las inundaciones a las personas y sus bienes. La tendencia actual es cambiar a estrategias más adaptativas utilizando las diversas funciones que proporcionan los ecosistemas naturales. Además, este tipo de medidas presentan una amplia lista de beneficios colaterales, como la mejora de la calidad del agua, la recarga de las aguas subterráneas, la mejora del hábitat para muchas especies, y el impacto positivo en el bienestar humano, creando espacios verdes naturales, y mejorando el paisaje.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Altos de la estancia, Bogotá, Colombia	Cátedra UNESCO de Sostenibilidad – UPC	2015	El objetivo principal de este proyecto fue el desarrollo e implementación de metodologías para la gestión del riesgo por deslizamiento. Se buscó la concienciación ciudadana del barrio para la reducción de riesgos en Altos de la Estancia, a través del intercambio de experiencias, la realización socio–ambiental y la concienciación de la propiedad ciudadana del parque.  Fuente de la foto: UNESCO.
Moravia, Medellín, Colombia	Cátedra UNESCO de Sostenibilidad – UPC	2013	El proyecto comenzó con el objetivo de resolver el problema ambiental causado por los efluentes contaminados (lixiviados) emitidos por los residuos sólidos municipales depositados en el antiguo vertedero de Medellín, mediante la implementación y uso de tecnologías apropiadas, basadas en sistemas de tratamiento natural como humedales construidos y franjas de vegetación o *buffer strips*, biorremediación y gestión del agua de escorrentía.

Lugar	Responsable	Año	Descripción
			 Fuente de la foto: UNESCO.
Cuenca hidrográfica de Lèze Sur de Francia	*Syndicat Mixte Interdépartemental de la Vallée de la Lèze* (SMIVAL)	2009 a 2014	La plantación de setos de contención en la cuenca hidrográfica de Lèze se hizo para mitigar el riesgo de inundaciones. Los setos de contención sirven para retrasar y dispersar el flujo máximo del río durante las crecidas, de forma que al obstruir parcialmente el caudal las barreras también permiten que el agua fluya más despacio. Los setos también reducen la energía del río y su potencial de erosión y ayudan a que los nutrientes se filtren, lo cual contribuye a mejorar el estado de los elementos fisicoquímicos y la calidad de la hidromorfología.
Río Danubio, Kalimok, Brushlen, Isla Belene Bulgaria	*Office international de l'Eau* *ACTEON Environment*	2002 a 2008	El objetivo principal de este proyecto fue la recuperación de los humedales naturales que poblaban la ribera del Danubio a lo largo de todo el país. Por culpa del drenaje de pozos, estos humedales se han ido perdiendo, generando un impacto en la calidad del agua y la biodiversidad del ecosistema del río: purifican el agua, proporcionan suelos básicos para la reproducción de numerosas especies de pájaros, así como sus hábitats de alimentación durante la migración invernal. Complementariamente, se quiso gestionar el agua del río para asegurar una buena irrigación de las zonas húmedas naturales.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.):

- Gobierno estatal y comunidades autónomas.
- Ayuntamientos de ciudades grandes.
- Operadores de agua.
- Confederaciones Hidrográficas.
- Universidades y centros de investigación (de ámbito de las ciencias de la naturaleza: gestión de cuencas, geología, hidrogeología, meteorología, gestión de contaminantes urbanos, química analítica, química orgánica e inorgánica, etc.).
- Comunidades de vecinos.
- Ingenierías de ámbito medioambiental.
- Empresas de construcción sostenible.

4.3.2.5 Sistemas fotovoltaicos flotantes

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agua
- Energía

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Un sistema fotovoltaico flotante (FPVS por sus siglas en inglés) consiste en una plataforma flotante sobre la que se pueden montar paneles fotovoltaicos tradicionales con el objeto de producir energía eléctrica y reducir la evaporación.

Descripción básica

Uno de los problemas derivados del aumento de temperatura ambiental será el aumento de la evaporación en las masas de agua superficial y la subsecuente reducción de la disponibilidad de agua. En este contexto, los sistemas fotovoltaicos flotantes pretenden generar energía renovable a la vez que minimizan el problema de la evaporación.

Como elementos característicos de estos sistemas están la plataforma flotante donde se instalan los paneles, los sistemas de anclaje, y en el caso de instalaciones grandes, los inversores que transforman la electricidad a alterna, que también se encuentran montados sobre plataformas flotantes cercanas a los paneles[99].

Existen varios tipos de diseño: el diseño "puro – flotante" que usa flotadores especialmente diseñados para instalar paneles sobre ellos, los sistemas basados en pontones y marcos metálicos que pueden usar flotadores genéricos, y el uso de membranas y alfombras textiles que crean una superficie donde instalar los paneles. También existen paneles semisumergidos que ofrecen ventajas como el aumento del efecto refrigerante del agua o la reducción de materiales en la instalación.

La aplicación de estos sistemas como medida de adaptación al cambio climático se centra en la protección de las masas de agua frente a un aumento de la evaporación. Un estudio realizado en el lago Nasser en Egipto[100] concluyó que cubrir las zonas poco profundas del lago genera una disminución de la evaporación de un 1/3 de lo que se esperaría si el lago estuviera completamente cubierto. Se estimó que cubriendo el 15% de la superficie del lago (profundidades de 0,0 a 3,0 m) se podía ahorrar 2,66 x 10^9 m^3/año y producir 1,7 x 10^9 MWh/año de energía solar.

[99] World Bank Group, ESMAP and SERIS. 2019. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. Washington, DC: World Bank

[100] Abd-Elhamid, H.F.; Ahmed, A.; Zelenáková, M.; Vranayová, Z.; Fathy, I. Reservoir Management by Reducing Evaporation Using Floating Photovoltaic System: A Case Study of Lake Nasser, Egypt. Water 2021, 13, 769.



Figura 16. Paneles solares flotantes en un viñedo de California (EEUU). Fuente: SPG Solar.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• La refrigeración y la ausencia de polvo que proporciona el agua aumenta la eficiencia de los paneles. • Reducen la aparición de algas, por lo que mejoran la calidad de las aguas. • No compite con otros usos del suelo. • Sinergias con infraestructuras eléctricas existentes de instalaciones hidroeléctricas. • Puede implicar una mejora de la calidad del agua si hay riesgo de proliferación de algas[101].	• No se conocen con precisión todos los costes asociados. • Operar sobre agua es complejo y por tanto costoso comparado con sistemas terrestres. • Los efectos a largo plazo sobre la calidad de las aguas de la disminución de insolación no se conocen con certeza. Sin embargo, estudios de los efectos del sombreado a largo plazo de balsas de riego muestran que esta técnica genera una reducción de fotosíntesis y de las turbulencias en superficie, generando una reducción del oxígeno disuelto y una reducción de la turbidez[102].

Potenciales barreras para su implementación

En balsas de riego sin valor paisajístico o ambiental no se espera que haya barreras que impidan su instalación. Sin embargo, la instalación de paneles en lagos o embalses puede generar oposición por parte de la sociedad debido a su valor paisajístico y ambiental. De especial importancia es este último, ya que los efectos sobre la calidad del agua y el ecosistema acuático a largo plazo no se conocen con certeza.

[101] Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66, 815–824.

[102] Maestre-Valero, J. F., Martínez-Alvarez, V., Gallego-Elvira, B., & Pittaway, P. (2011). Effects of a suspended shade cloth cover on water quality of an agricultural reservoir for irrigation. Agricultural Water Management, 100(1), 70–75.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Aunque existen instalaciones a escala real y productos comerciales como los módulos patentados por Ocean Sun, los FPVSs son un concepto relativamente nuevo. Las experiencias con instalaciones grandes son escasas y recientes. Sólo se han desplegado algunos proyectos de demostración a gran escala en todo el mundo, como en China. En el caso del estudio del lago Nasser en Egipto, se buscaba la optimización de los paneles para reducir la evaporación, pero muchos son los interrogantes sobre cuáles son los efectos a largo plazo sobre la calidad de las aguas o de como facilitar su instalación u optimizar la productividad.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se conoce el efecto de la limitación de la evaporación en la instalación de paneles en embalses. Sin embargo, la cuantificación de hasta qué punto se evita dicha evaporación es complicada y falta investigación al respecto. Lo mismo ocurre con los posibles efectos negativos de bloquear la incidencia de luz sobre el agua. En los próximos años cabe esperar que se produzcan avances en ambas líneas para determinar el rendimiento real del sistema y su posible impacto sobre el ecosistema. Por otro lado, se prevé un aumento en la instalación de paneles solares flotantes, lo que aumentará el conocimiento sobre los costes y efectos a largo plazo de esta tecnología.

Resultados esperables

El estudio de Cazzaniga et al. (2019)[103] muestra que sólo cubriendo un 10% de un depósito de agua superficial se puede reducir la evaporación más de un 18%.

La primera instalación de paneles solares flotantes se hizo en Japón, que fue seguida por varios países. Poco a poco las instalaciones han ido aumentando su capacidad, hasta llegar a las recientes (2018), capaces de producir más de 100 MWp[104].

La vida media de estas instalaciones es de entre 5 a 10 años, que es la garantía que suelen tener los flotadores sobre los que se instalan los paneles.

Costes de instalación

Por vatio-pico (Wp)[105], los gastos de capital (CAPEX) siguen siendo ligeramente superiores a los de los proyectos fotovoltaicos terrestres, principalmente debido a los gastos de la estructura flotante (el número de flotadores necesarios depende del diseño), la plataforma flotante del inversor (cuando sea pertinente) y el sistema de anclaje y amarre. El CAPEX total para los sistemas FPV en 2018 osciló entre 0,7 y 1,0 €/Wp, dependiendo de la ubicación, la profundidad y la variación de la masa de agua, y el tamaño del sistema. Los costes de los sistemas convencionales se sitúan alrededor de 0,46 €/Wp.

Costes de operación

Las actividades de operación y mantenimiento son más complejas sobre agua que en tierra. Los paneles y anclajes se tienen que inspeccionar con regularidad, para lo que se necesita una embarcación en la mayor parte de los casos. Uno de los factores de mantenimiento más tediosos es la retirada de excrementos de aves que ven en estas islas flotantes un lugar perfecto para anidar o simplemente posarse. Esto aumenta los costes de mantenimiento y protección. Uno de los factores a tener en cuenta en estas instalaciones es que sufren mayor

[103] Cazzaniga, R., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G.M., 2019. Integration of PV floating with hydroelectric power plants. Heliyon 5, e01918.

[104] World Bank Group, ESMAP and SERIS. 2019. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. Washington, DC: World Bank

[105] El vatio-pico es la potencia eléctrica máxima generada en condiciones standard de iluminación (irradiancia espectral AM1.5G, 100 mW/cm^2) y temperatura (25ºC)

corrosión y desgaste que los sistemas terrestres, ya que están sometidos al agua y a su continua oscilación. Los costes de mantenimiento varían enormemente dependiendo de la localización y el país, alcanzando un valor medio de unos 8,7 €/KWp/año. Los costes de mantenimiento de una instalación fotovoltaica a escala de operadora están alrededor de 5 €/KWp/año.

Aceptación social

Es de esperar que la aceptación social de esta tecnología sea baja, ya que la instalación de paneles solares sobre masas de agua modifica el paisaje. Por esta razón, lo más probable es que esta tecnología se extienda en aquellas masas de agua que por su tamaño, localización y/o uso no se perciban por la población local como de valor.

Por otro lado, será clave para el futuro de la tecnología proporcionar una cuantificación de la mínima superficie a cubrir en una masa de agua para optimizar la reducción de evaporación, como se propone en el estudio anteriormente mencionado en el lago Nasser. Este tipo de estudio, que demuestran el valor de estas instalaciones en la protección del recurso si se aplican y divulgan adecuadamente pueden suponer una forma de reducir el rechazo inicial a la instalación de paneles en partes de una masa de agua.

Destinatarios

- Asociaciones de regantes
- Confederaciones hidrográficas
- Municipios con balsas de abastecimiento
- Fondos de inversión
- Empresas hidroeléctricas

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas
- Estrés hídrico
- Sequías
- Calidad del agua

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En las regiones áridas y semiáridas, la escasez de agua es uno de los principales problemas provocados por el cambio climático. Los embalses de agua son comunes en estas zonas, especialmente en los paisajes dominados por la agricultura. Por ello, encontrar una forma de reducir la evaporación podría ahorrar una gran parte del recurso. Existen muchos métodos para reducir la evaporación del agua de los embalses superficiales. Sin embargo, el uso de paneles solares para sombrear implica la generación de energía renovable, lo que supone un valor añadido en la adaptación al cambio climático de estas regiones.

Por otra parte, el aumento de temperaturas está conllevando una disminución de la calidad de agua superficial debido a la proliferación de algas. Estas pueden aumentar la materia orgánica en el agua generando problemas durante la potabilización, e incluso generar compuestos que pueden ser perjudiciales. Una disminución de la insolación ayudaría a minimizar estos efectos al inhibir el crecimiento de estos microorganismos.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Lake Nasser, Egipto.	Estudio Teórico	2021	Cubriendo el 15% de la superficie del lago (profundidades de 0,0 a 3,0 m) se pueden ahorrar 2,66x10^9 m^3/año y

Lugar	Responsable	Año	Descripción
			producir 1,7x10^{9} MWh/año de energía eléctrica.
Prefectura de Hyogo, Japon	Autoridad de Generación de Electricidad de Tailandia (EGAT)	2021	En Japón se encuentran 45 de las 70 mayores plantas fotovoltaicas flotantes del mundo, de las que 24 en Hyogo. Umenoki es la instalación de energía fotovoltaica flotante más grande de Japón. Esta planta tiene 7.750 kWp y una de sus singularidades es que está instalada en una balsa de riego.
Coal mining subsidence area, Panji (China)	Three Gorges New Energy	2018	La mayor instalación del mundo con capacidad para 15.000 kWp
Pontecorvo (Italia)	Ciel & Terre International	2017	Sistema capaz de generar 343 kWp instalado sobre una balsa de riego
Presa Queen Elizabeth II, Londres (UK)	Ciel & Terre International	2016	Capacidad para 6.338 kWp
Planta fotovoltaica flotante en Sierra Brava, Cáceres	Acciona	2020	Balsa de riego en la que se ha cubierto solo un 0,07% de la superficie con 3.000 módulos fotovoltaicos con una potencia pico de 1.125 kWp

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Compañías de generación eléctrica
- Confederaciones hidrográficas
- Empresas gestoras del ciclo integral del agua
- Empresas hidroeléctricas

4.3.2.6 Gestión y reutilización de agua regenerada para riego y limpieza de calles

(Autores: Mireia Pla Castellana y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agua
- Urbanismo y edificación

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución/Tecnología:

Un tratamiento terciario es una técnica de depuración donde, el agua usada en actividades humanas se somete a diferentes procesos, que son una combinación de tratamientos físicos, químicos y/o biológicos. Estos tratamientos son capaces de eliminar la materia en suspensión y las sustancias disueltas, mejorando la calidad del agua depurada para aplicarla en nuevos usos de valor, buscando una mayor eficiencia del agua tratada por las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR).

Es un sistema adicional que permite incrementar la calidad del agua depurada para que pueda emplearse en usos no relacionados con el consumo humano, como son el riego de parques y jardines, la limpieza de calles, usos industriales o la inyección en acuíferos, cumpliendo con las normativas de calidad actuales para los diferentes usos propuestos[106].

Descripción básica

Las aguas regeneradas son aguas no potables, que se usan en el riego de parques, la limpieza de calles en zonas urbanas, así como para usos industriales. El agua regenerada la proporcionan los sistemas terciarios de las EDAR. Estas aguas se suministran a través de redes de agua independientes.



Figura 17. Las dos imágenes muestran el uso urbano normalizado de las aguas regeneradas. A la izquierda se muestra uno de los parques de muchas ciudades de España que ya se riegan con agua regenerada. Fuente: Canal de Isabel II. A la derecha, un técnico de la ciudad de Canalejas (Alicante) realizando un baldeo de calles con agua regenerada. Fuente: Diario Información.

[106] España. Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Boletín Oficial del Estado, de 8 de diciembre de 2007, núm. 294, pp. 50639 a 50661.

Las EDAR se componen de tres etapas de tratamiento de aguas residuales, que se denominan *convencionales*: un pretratamiento (remueve y recoge los desechos gruesos), un tratamiento primario (separa la materia orgánica particulada) y un tratamiento secundario (elimina la materia orgánica disuelta).

Los tratamientos terciarios son procesos adicionales que se incorporan en la EDAR después del proceso de eliminación de materia orgánica para mejorar la calidad del agua. Un tratamiento terciario reduce la carga de contaminantes, como salinidad, nutrientes, etc., permitiendo su reutilización como recurso hídrico alternativo según la legislación vigente.

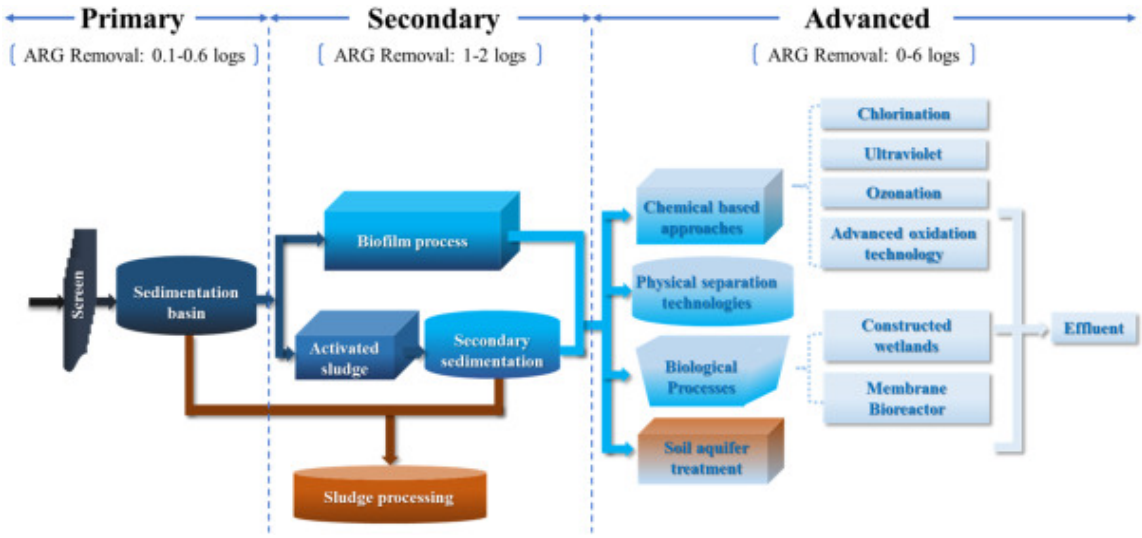


Figura 18. Esquema del tratamiento de aguas residuales genérico. Este tratamiento pasa, en primer lugar, la fase de tratamiento primario y secundario. Por último, se aplica un tratamiento terciario o avanzado, que higieniza el agua para poderla reutilizar para recarga de acuíferos, usos industriales, baldeo de calles, riego de parques y jardines o mejora de humedales. Fuente: Pei, M. et al. 2019[107]

Existen dos tipologías de tratamiento terciario, con diferentes procesos:

- Tratamiento básico: involucra un sistema fisicoquímico con filtración con filtros de arena y desinfección.
- Tratamiento avanzado: involucra tecnologías como sistemas de fangos avanzados, y de membranas para usos más restrictivos (recarga de acuíferos) que requieran una eliminación de sales, así como de compuestos contaminantes emergentes.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Disminución del uso de agua potable para actividades que no sean estrictamente de consumo humano. • Reducción del uso intensivo de agua en sectores industriales. • Reducción del uso intensivo del agua en el turismo. España es uno de los países con más días de sequía y también de los más visitados del mundo. Estos dos factores combinados pueden ser problemáticos si no se aplican soluciones como la reducción del uso de agua en hoteles y resorts en duchas e inodoros, así como la utilización de agua regenerada para riego de jardines y limpieza de zonas comunes. • Reducción de las presiones generadas por los vertidos a cauce de los efluentes de las EDAR.	• Despliegue de la red necesaria para albergar y transportar el agua regenerada, y que llegue a ciudades y pueblos.

[107] Mengke Pei, Bo Zhang, Yiliang He, Jianqiang Su, Karina Gin, Ovadia Lev, Genxiang Shen, Shuangqing Hu. (2019) State of the art of tertiary treatment technologies for controlling antibiotic resistance in wastewater treatment plants, Environment International, Volume 131.

Potenciales barreras para su implementación

Las barreras más importantes para el uso de agua regenerada en zonas urbanas es la implementación de un sistema terciario en una planta depuradora de aguas residuales, así como la huella de carbono en caso de que el consumo energético se produzca con fuentes no renovables. Esto conlleva algunas barreras como son el presupuesto de construcción, tanto de la infraestructura en sí, como de la red de agua regenerada de transporte hasta su punto de consumo.

También el espacio disponible es un factor limitante para realizar dicha construcción, porque deben estar relativamente cerca de las EDAR cuyos efluentes traten. Además, el coste del bombeo de agua regenerada desde la EDAR hasta el punto de consumo puede ser significativo hecho que limita los potenciales usos a aquellos cerca de la EDAR.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 9

El nivel de innovación de estos sistemas es de 9, dado que los procesos que se desarrollan en los terciarios están muy bien caracterizados y descritos, y se encuentran comercialmente disponibles. España es el líder europeo en reutilización de agua con un volumen total estimado de más de 400 hm^3/año lo que supone entre el 7 y el 13% del agua residual tratada[108].

Igualmente, es destacable que los procesos relacionados con el tratamiento de aguas residuales están en constante desarrollo.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Los avances esperables para la aplicación cada vez más amplia de las aguas regeneradas es la creación de nuevas directrices, que impongan unos límites de calidad de agua obligatorios basadas en riesgos sanitarios y ambientales de reutilización.

Resultados esperables

Durante la siguiente década se espera un aumento en el uso del agua regenerada, así como la implementación de sistemas de regeneración más eficientes, que minimicen tanto el consumo de energía como el de consumibles derivados.

También es esperable una mejora de la aceptación social del uso del agua regenerada derivado del aumento de número de actuaciones, pero también de la actualización e implementación de nuevas regulaciones, tales como el Reglamento Europeo 2020/741[109] que entrará en vigor en 2023.

Costes de instalación

La construcción de una infraestructura de terciario para la obtención de agua regenerada puede conllevar importes muy elevados dependiendo del sistema de tratamiento escogido y el control realizado. Empezando por la adecuación del terreno y el emplazamiento de los distintos sistemas, y finalizando con la conexión entre sistemas primario y secundario con el terciario. Los costes finales dependerán de los m^3 que trate la planta, pudiendo ser infraestructuras de

[108] Asociación Española de Desalación y Reutilización (2019). Cifras de reutilización de agua en España. Accedido el 21/12/2021.

[109] Parlamento Europeo (2020). REGLAMENTO (UE) 2020/741 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua.

500.000 a más de 5.000.000€ dependiendo de la tecnología implementada y volumen de tratamiento [110],[111],[112].

Costes de operación

Los costes de operación están directamente relacionados con la capacidad de la planta, así como de lo actualizada que esté la red de agua regenerada que transporta el agua hacia los municipios.

Diferentes informes relacionados, indican que el coste de operación de sistemas terciarios es de entre 0,20 y 0,80 €/m^3 [113,114]. En general, la partida que tiene más peso dentro del tratamiento de agua terciario es el consumo de energía asociado a los sistemas de filtración, que representaría el 32% de los citados costes.

Aceptación social

El agua regenerada tiene buena aceptación social para el baldeo de calles y el riego de parques y jardines.

El reglamento europeo de reutilización de aguas urbanas para el riego agrícola ha entrado en vigor el 25 de junio de 2021, y será aplicable dentro de tres años. Este hecho mejorará la visión actual del agua regenerada, y permitirá movernos hacía una Europa más circular, minimizando la presión de los recursos hídricos naturales.

Destinatarios

- Ciudadanos
- Comunidades de regantes
- Empresas de jardinería urbana
- Gobiernos
- Ayuntamientos
- Confederaciones hidrográficas
- Agencias de medio ambiente a nivel regional
- Operadores de agua

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Reaprovechamiento del recurso hídrico.
- Mejora de la calidad de agua en acuíferos.
- Reutilización para riego agrícola, limita la sobreexplotación de acuíferos.
- Mantenimiento de humedales naturales.
- Mejora de la biodiversidad.

[110] Hernández, F., Molinos, M., y Sala, R. (2010). "Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio". Rect@, 11(1), 1-25.

[111] Lavee, D. (2011). "A cost-benefit analysis of alternative wastewater treatment standards: A case study in Israel". Water and Environment Journal, 25(4), 504-512.

[112] López, J. (2006). "Los costes de la reutilización de aguas" en Prats, D. y Melgarejo, J. (ed.), Desalación y reutilización de aguas. Situación en la provincia de alicante. Alicante, Fundación Coepa para la Formación.

[113] Martínez, F.J. (2004). Estudio agronómico y ambiental del riego con aguas residuales depuradas en el cultivo del arroz. Aplicación a una línea de riego en el parque natural de la Albufera (Valencia). Tesis doctoral. Editorial Universitat Politècnica de València, Valencia.

[114] Hernández, F. y Sala, R. (2005). "Eficiencia técnica en la depuración de aguas residuales: El caso de la comunidad valenciana". Rect@, 13(1), 46.

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

La reutilización del agua cada vez será más necesaria. El cambio climático ya está generando problemas de sequías, escasez de lluvias, o lluvias de tipo torrencial. Esto nos obliga a adaptarnos y reaprovechar la mayor cantidad de agua posible.

El uso de agua regenerada no solo mejora el reaprovechamiento del recurso hídrico, si no que permite un control de la sobreexplotación en zonas que, ya de por sí, son críticas. Las zonas de clima árido, como la mediterránea, son zonas con escasez de agua donde la aplicación de sistemas terciarios que produzcan agua regenerada de calidad es una necesidad para poder incluir todas las variables de nuestra sociedad, y afrontar la transformación que conlleve el cambio climático.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Madrid	Canal de Isabel II	2021	Canal de Isabel II tiene una infraestructura que puede suministrar más de 100 hm hm^3 de agua regenerada a 25 municipios de Madrid, contando la capital, que tienen este servicio. En total, son 32 plantas con una red de distribución de más de 650 kilómetros y un total de 64 depósitos para almacenarla. La cantidad de agua regenerada en 2021 que se utilizó para usos urbanos es un 33 % más alta que la del año 2020. Y está en expansión, ya que la red de agua regenerada va creciendo año a año, llegando cada vez a más poblaciones.
Canarias, Cabo Verde, Madeira	Instituto Tecnológico de Canarias (ITC)	2017-2019	Los objetivos de ADAPTaRES son por un lado la sensibilización a través de la información objetiva de la sociedad, sobre la reutilización del agua regenerada como estrategia adaptativa al cambio climático y ante situaciones de escasez hídrica. Se pretende, pues, realizar una demostración de la reutilización de aguas regeneradas y de buenas prácticas, para una adaptación gradual a situaciones derivadas del cambio climático, asociadas sobre todo a escasez hídrica.
Singapur	Agencia Nacional del Agua de Singapur (PUB)	2016	Singapur cuenta con 5 estaciones de regeneración de agua residual. En 2019, se produjeron aproximadamente 145,5 millones de metros cúbicos de NEWater en Singapur. NEWater es agua regenerada de alta calidad creada por la estrategia de sostenibilidad del agua de Singapur. Se produce a partir de agua usada tratada que se purifica aún más utilizando tecnologías avanzadas de membrana y desinfección ultravioleta. Actualmente Singapur tiene capacidad para producir el 40% del agua que consume a partir de agua regenerada.
Baix Llobregat, Cataluña	Agencia Catalana del Agua (ACA)	2006	La reutilización de las aguas de la depuradora del Baix Llobregat aumentará los recursos hídricos de Cataluña en 50 millones de m^3 al año, evitando que dicho volumen de agua tenga que proceder de los embalses de la cabecera del río.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Centros tecnológicos
- Universidades
- Operadores de agua
- Empresas constructoras
- Gobiernos estatales, regionales y locales

4.3.3 Salud

4.3.3.1 Modelos climáticos urbanos. Sistemas de adaptación al estrés térmico

(Autor: Xavier Rodó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Salud
- Alerta temprana
- Urbanismo y planificación

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Sistema de adaptación al estrés térmico testado en Amberes (Bélgica) basado en un modelo climático urbano de alta resolución de 100-m para mapear a microescala (barrios, calles) las olas de calor y el estrés térmico (UrbClim)[115]. Permite desarrollar un sistema de alerta temprana para avisar a la población más vulnerable con actualizaciones diarias.

Descripción básica

Los gestores de los espacios públicos urbanos, así como los ciudadanos de a pie están particularmente interesados en caracterizar bien los patrones espaciales de la exposición al calor dentro de las ciudades. Dichos datos aportan mucha información de las zonas de refugio térmico (frías), así como de los puntos calientes a evitar. Muchos estudios han demostrado que el calor ambiental y las olas de calor suponen un riesgo importante para la salud de las personas y pueden llegar a ocasionar la muerte.

La web TEMOB de la Agencia de Salud Pública de Barcelona (ASPBCN) e ISGlobal ofrece por primera vez estimaciones directas y fiables de la relación entre el calor y la mortalidad humana. Su impacto se analiza a partir de series diarias de datos para el período 1987-2016 e individuamente para los 73 barrios de Barcelona. Este producto pone de manifiesto como estos efectos no se distribuyen de forma homogénea en la ciudad, sino que varían según los barrios en función de aspectos urbanísticos, socioeconómicos y demográficos, lo cual incide en aspectos de desigualdad social.

La plataforma utiliza un modelo climático adaptado a clima urbano (UrbClim[116]), como se ha demostrado en el proyecto Climate-Fit City[117] y en particular para la ciudad de Amberes (Bélgica), a escalas de 100m combinando información de temperatura y de humedad, para generar también un mapa de confort térmico. UrbClim está desarrollado por VITO (Bélgica) y usa mapas del terreno, así como información meteorológica de escala intermedia, para producir una malla horaria de temperatura, humedad y velocidad del viento.

El modelo se diseñó para asimilar y estudiar la isla de calor urbana[118] y otras variables climáticas urbanas a una resolución espacial de 100m. Las capacidades singulares de UrbClim permiten generar series temporales espacialmente explícitas a escala horaria de una diversidad de indicadores que se pueden derivar en un posprocesado de la información. Esta

[115] De Ridder, K., Lauwaet, D., & Maiheu, B. (2015). UrbClim – A fast urban boundary layer climate model. Urban Climate, 12, 21–48.

[116] García-Díez, M., Lauwaet, D., Hooyberghs, H., Ballester, J., De Ridder, K., & Rodó, X. (2016). Advantages of using a fast urban boundary layer model as compared to a full mesoscale model to simulate the urban heat island of Barcelona. Geoscientific Model Development, 9(12), 4439–4450

[117] Climate -fit.city

[118] Se denomina así al área urbana significativamente más cálida que su entorno rural circundante, como consecuencia de las construcciones y actividades humanas. Este efecto está asociado a los cambios en la superficie ligados a la urbanización, que alteran la escorrentía y disminuyen la humedad del subsuelo, y a los efectos de los materiales de construcción (como el asfalto y el hormigón) en la retención de calor. (AEMET.)

herramienta en el caso de Barcelona se ha combinado con un modelo estadístico de transferencia entre los efectos de temperatura y la mortalidad, cribando estos efectos combinados, por género, edad, nivel de estudios, socioeconómicos y de urbanismo.

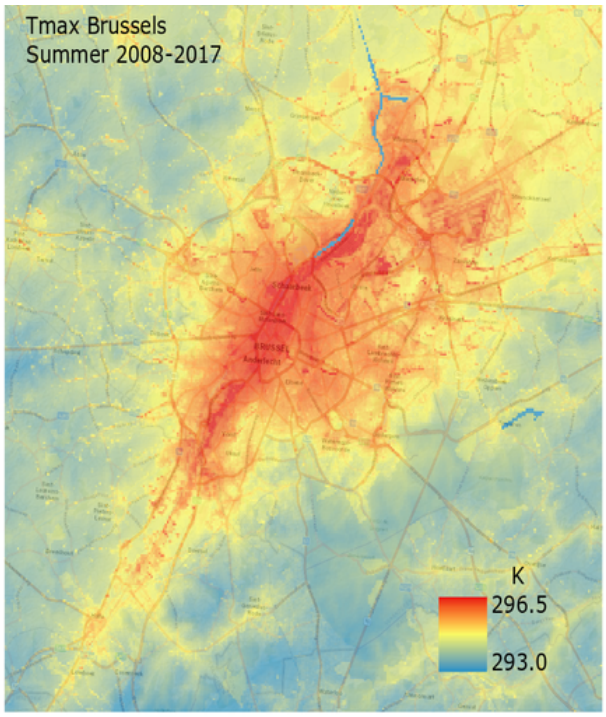


Figura 19. Mapa de alta resolución (100m x 100m) de Bruselas mostrando las temperaturas máximas para el período 2008-2017 y utilizando el modelo Urbclim. Fuente: Copernicus, 2021.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Facilita la adaptación en otras actividades/sectores. • Permite medir la reducción de los riesgos a los que se adapta mediante un sistema operacional a tiempo real. • Implementación inmediata y fácil portabilidad. • Altísima resolución espacial con un producto contrastado (p.ej. integrado en COPERNICUS). • Visualización atractiva de los resultados por parte del público en general. • Permite evaluaciones para adaptación a largo plazo (planificación urbanística)	• Solución muy específica para municipios grandes. • Requiere de la implementación del sistema de cálculo en una arquitectura computacional compatible. • Gran cantidad de factores puede resultar en una gran cantidad de datos a analizar en tiempo real. • En función de la resolución temporal requerida (diaria, semanal) hay un tiempo de cálculo y un coste operativo diferente. • Capacidades del personal técnico.

Potenciales barreras para su implementación

Las barreras (o requerimientos) para la implementación del modelo UrbClim y de una plataforma de posprocesado se clasifican en 3 bloques.

- Tecnológicas: Será necesario disponer de un nodo de cálculo intensivo si se quieren correr las simulaciones localmente (alternativamente se puede subcontratar el servicio en origen a VITO o a alguno de sus institutos asociados desarrolladores de servicios). Adicionalmente será necesario actualizar la red informática y/o arquitectura de cálculo y las salidas del sistema hacia los usuarios implicados (municipios, agencia de salud pública, etc.).

- De disponibilidad de datos: Aunque UrbClim utiliza datos abiertos públicos para su arranque, si la utilidad es la generación operativa de los mapas de olas de calor, será necesaria la calibración del modelo con datos actualizados de la ciudad donde se aplique. Igualmente, para realizar las funciones de transferencia a mortalidad, será necesario disponer de los datos de salud a un nivel de ICD10, con información anonimizada de género, edad y datos socioeconómicos.
- Roles y responsabilidades de las partes interesadas: Será necesario, entre otros requisitos, establecer unos canales de comunicación óptimos para la colaboración entre proveedores de datos meteorológicos y de salud pública, con el fin de mejorar las sinergias y la comunicación necesarias entre la generación de los mapas y previsiones de riesgo de extremos térmicos y de riesgo de mortalidad asociada en las diferentes poblaciones.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Permite detectar zonas de elevado riesgo de extremos de temperatura dentro de los barrios de la ciudad y posibilita la generación de nuevos sistemas de alerta temprana también durante la noche, minimizando los potenciales efectos negativos sobre la salud. UrbClim se ha probado en 100 ciudades europeas y ha permitido reproducir la isla de calor urbana de Barcelona durante el verano a muy alta resolución y con un tiempo de cálculo muchos órdenes de magnitud menor que los modelos climáticos tradicionales, así como identificar si estos extremos de temperatura han afectado de manera diferencial segmentos de población, género o barrio de procedencia.

Por otro lado, en el contexto actual de calentamiento global, y en un escenario sin adaptación, se espera que aumenten los riesgos relacionados con el calor (incremento de temperaturas y olas de calor). Este hecho supone también un grave problema de salud pública. En este sentido la web TEMOB también permite explorar numerosos indicadores climáticos, obtenidos a partir del modelo de clima urbano UrbClim, a una gran resolución espacial (100 metros). Así pues, la herramienta muestra diferentes escenarios climáticos para diferentes periodos pasados y futuros, estos últimos calculados según dos escenarios de emisiones.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Esta herramienta se prevé que llegue a ser el modelo de referencia a escala urbana que se va a implementar en Europa. Va a estar en constante mejora, sobre todo en la integración de la orografía urbana por un lado y en la inicialización desde fuera de las condiciones de contorno del modelo. El acoplamiento al modelo WRF[119] para realizar un reescalado dinámico de la información meteorológica de entrada para inicializar el modelo, va a suponer también un salto notable en la capacidad de reproducir el clima local.

A nivel de la generación de riesgos y mapas/escenarios de mortalidad humana se sigue evolucionando dichas funciones e integrando la mismas.

Resultados esperables

Aplicación directa en políticas de salud pública y mejora en los planes de alerta temprana por olas de calor y de frío, así como operacionalización del servicio.

Costes de instalación

Los costes de instalación varían dependiendo del objetivo o producto perseguido. Si se trata únicamente de la generación de mapas base históricos de los efectos de isla de calor urbana (2008-2017) a base de reanálisis, se puede acudir directamente a Copernicus (ECMWF) y obtenerlos bajo licencia (<5.000€ según la licencia). Si se requiere una versión más avanzada que además proporcione una resolución de 100m x 100m, se pueden obtener estos mapas base a través de otra licencia Copernicus.

[119] El modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) es un sistema de cálculo numérico para simulación atmosférica diseñado para satisfacer las necesidades tanto de investigación como de predicción atmosféricas.

Si en cambio se requiere además la versión computacional del modelo UrbClim instalada para la generación de escenarios actualizados y futuros, estacionales, la empresa belga VITO ofrece licencia de uso y soporte (p.ej. presupuesto bajo demanda y en función del número de municipios, etc.).

Costes de operación

Los costes de mantenimiento van en función del tipo de instalación y soporte requeridos.

Aceptación social

Se prevé buena aceptación social dado el grado de concienciación ciudadana respecto al cambio climático. Es una tecnología de la que existe demanda por parte de agentes sociales y/o aporta beneficios sociales más allá de la adaptación del cambio climático.

A nivel de gestión pública, la herramienta puede crear tensión social si la información generada sobre el distinto impacto en la salud por barrios, manzanas de calles, etc. de los factores socioeconómicos, urbanísticos, climáticos muestra las desigualdades por territorios. Puede entrar en conflicto –si no se coordina- con otros sistemas de alerta temprana en su caso, que estén en funcionamiento en otras administraciones (p.ej. a nivel municipal).

Destinatarios

- Municipios y comunidades autónomas
- Sistema de Salud Pública
- Urbanismo

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Olas de calor
- Variabilidad de la temperatura

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

UrbClim ofrece un producto único, entre otros, para resolver dinámicamente la microescala y por lo tanto la heterogeneidad espacial dentro de la ciudad. También permite integrar el efecto del clima con el de la información socioeconómica, ya que puede mostrar que las áreas de menor renta per cápita, tienen peor accesibilidad a áreas verdes, edificios con peor aislamiento térmico, temperaturas más elevadas dentro de la ciudad, etc.

Los sistemas de alerta temprana son los que se van instaurando de forma progresiva en salud pública, lo cual tiene lógica. La prevención es una de las señas de identidad de la salud pública. Al igual que con la calidad del aire, la función de estos modelos es identificar aquellas áreas más afectadas por el calor. Si a ello se añade el análisis demográfico, se puede identificar la población más vulnerable que allí vive.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Barcelona	ASPBCN, ISGlobal	2021	Dentro del proyecto europeo Climate Fit City, la ASPBCN junto con ISGlobal desarrolló el aplicativo web TEMOB.
100 ciudades europeas	ECMWF	2019	El Centro Europeo para la Predicción Meteorológica a Medio Plazo ha desarrollado simulaciones históricas de este modelo con VITO, que aparecen en la web de COPERNICUS.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

Se estiman los siguientes agentes de interés según la experiencia de EURECAT en estudios previos y proyectos en los que se ha participado:

- Agencias de Salud Pública
- VITO
- ISGlobal

4.3.3.2 Mapas urbanos de índice de confort térmico

(Autor: Xavier Rodó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Salud
- Urbanismo y edificación
- Alerta temprana

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Cómputo y mapeado diario de alta resolución de los valores de *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) medidos instrumentalmente a 2 metros de altura, como indicador combinado de temperatura y humedad. Dicho indicador siempre debería estar por debajo de los 25°C para no tener efecto en salud. Permite establecer diariamente aquellas zonas de calor extremo o de sombra en espacios urbanos, mediante la instalación de sensores WBGT. Puede dar lugar a mapas de alta resolución si se combina con el modelo *UrbClim*.

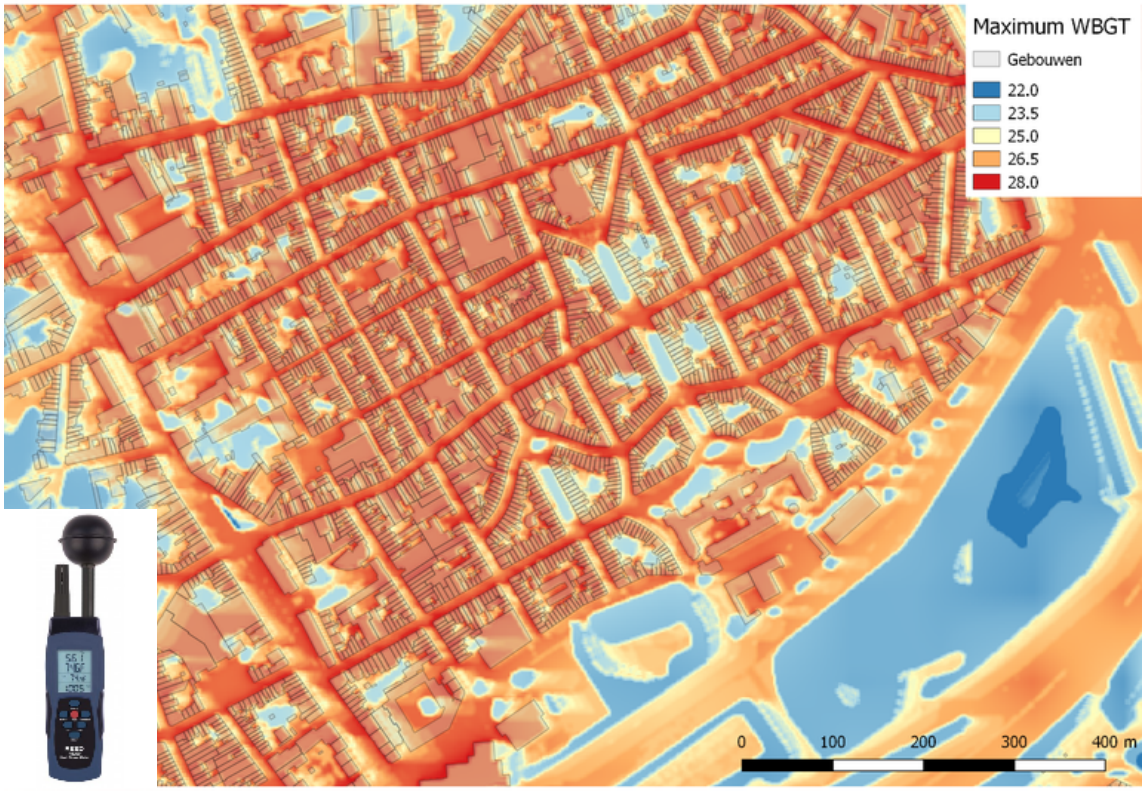


Figura 20. Ejemplo mapa de riesgo de estrés térmico en Amberes derivado de medidas de WBGT y la aplicación del modelo urbano UrbClim. Fuente: Dirk Lauwaet (VITO). El recuadro interior muestra a modo de ejemplo un sensor típico de WBGT. Fuente: HTSEI.

Descripción básica

La temperatura no es por si sola una buena medida del estrés fisiológico por calor. El indicador llamado WBGT tiene en cuenta además de la temperatura, la humedad, el viento, el ángulo de irradiación solar y la cobertura de nubes. Los emplazamientos con árboles y/o masas de agua son los que tienen temperaturas más bajas, mientras que el mayor estrés térmico se da en zonas pavimentadas y calles en donde no hay sombra. Por tanto, el efecto del estrés térmico sobre el cuerpo humano se puede evaluar adecuadamente con el WBGT, reconocido internacionalmente como el índice de confort térmico.

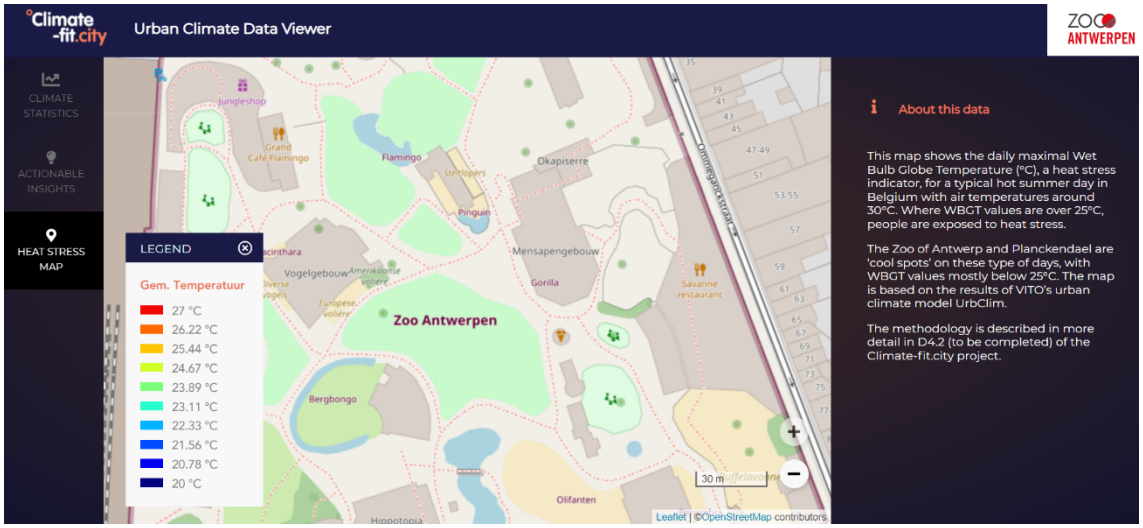


Figura 21. Ejemplo mapa de riesgo de estrés térmico en el zoo de Amberes derivado de medidas de WBGT y la aplicación del modelo urbano UrbClim. Fuente: Climate-fit.city.

Adicionalmente, en este link se puede visualizar una animación del producto obtenido con UrbClim para la ciudad de Almada (Portugal).

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Facilita la adaptación en otras actividades y sectores. • Permite medir la reducción de los riesgos a los que se adapta. • Visualización fácil de los resultados. • Bajo coste. • Escalabilidad por tramos en función del número de equipos a instalar.	• Potencial vandalismo con los equipos. • Intercalibración necesaria. • Si se quieren generar mapas operacionales (p.ej. diarios), requiere de personal técnico dedicado.

Potenciales barreras para su implementación

No se detectan barreras importantes para su implementación. La tecnología es barata, está bien reconocida internacionalmente y su uso en combinación con otros sistemas de alerta públicos es claramente beneficioso. Su bajo coste permite una sustitución inmediata de los equipos, si se estropean o sufren actos vandálicos. Permiten también la concienciación ciudadana y la comunicación de la necesidad de protegerse del calor en episodios de canícula[120], cada vez más frecuentes debido al cambio climático.

Esta aproximación también se ha usado igualmente en edificios individuales, en particular en aquellos que sufrían de excesivo estrés térmico y no tenían sistemas de refrigeración activos. También se ha utilizado para optimizar dichos sistemas. Se espera poder aplicar en un futuro también esta misma metodología a otro tipo de edificios (hospitales, asilos, centros de día, etc.)[121] .

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

[120] La canícula o período canicular es la temporada del año en la cual el calor es más fuerte, tanto en el hemisferio Sur como en el Norte (desfasados seis meses entre sí). La duración oscila entre cuatro y siete semanas, dependiendo del lugar.

[121] Hooybergs et al Climatic Change (2017) 144:721–735

La temperatura del aire es buena indicadora del calor, pero no del estrés térmico humano. El uso de la WBGT permite ajustar mejor a los efectos sobre la salud, con una tecnología de medida muy barata y que puede complementarse con un modelo 3D de los edificios y espacios verdes, así como de la radiación incidente.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se esperan desarrollos del cálculo del estrés térmico para edificios individuales. Se ha probado esta tecnología a escalas de 1 metro de resolución, mediante la aplicación de modelos 3D, lo cual incrementa enormemente su relevancia y utilidad para los gestores públicos y privados. En el caso de Bélgica, el WBGT está legislado dentro del estrés térmico en el ámbito laboral. También es posible estimar el número de horas potenciales pérdidas para el caso particular de los trabajadores al aire libre. En un futuro, las simulaciones ALARO EURO-CORDEX (del Royal Meteorological Institute belga) se usarán para generar simulaciones de los escenarios de cambio climático.

Resultados esperables

Es de esperar que el cambio climático tenga un impacto significativo tanto en la salud de los colectivos vulnerables como en la productividad. Este efecto se acentúa en espacios abiertos en ciudades sometidas a elevado estrés térmico debido al aumento de las temperaturas estivales. La situación se acrecentará a medida que avanzamos hacia finales de siglo.

Medidas similares efectuadas en las ciudades en la que estos sistemas se han instalado proporcionan evidencias claras de la necesidad de empezar a adaptar nuestras ciudades al estrés térmico y al cambio climático. Enfriando los espacios públicos y los edificios de las ciudades implementando infraestructuras 'verdes' o ligadas a la vegetación y 'azules' o ligadas al agua, como elementos de sombra, techos verdes, etc. Ello incrementará también el atractivo de las ciudades.

Costes de instalación

Los costes de instalación son limitados y van en función del número de equipos de medición instalados. Según costes de 2019, un equipo individual de WBGT ronda los 350€ más IVA. A ello hay que sumarle la instalación de los sensores en farolas, semáforos u otros puntos elevados 4-5 m para minimizar el pillaje y el vandalismo. Se tiene que proveer la conexión eléctrica y de wifi a la red. Puede optarse para la alimentación por una batería autónoma mediante placa solar que incrementa unos 200€ el coste individual de cada sensor.

La operativa en combinación con el modelo UrbClim, así como la generación de mapas debe de considerarse de acuerdo a la propuesta específica sobre este modelo incluida en las soluciones.

Costes de operación

Hay que considerar los costes de mantenimiento (calibración de sensores), servicios de electricidad e internet, revisión de equipos y seguridad, así como el del postprocesado de la información y la generación de los productos digitales (mapas, series, etc.)

Aceptación social

En general es de esperar una aceptación alta después de un proceso de sensibilización (campaña de comunicación, publicidad…). No hay agentes sociales posicionados en estos momentos ni a favor ni en contra. La solución es desplegable siguiendo una implementación modular por etapas, en función del interés de los municipios. Se puede por lo tanto incrementar la resolución (p.ej. más sensores) a demanda. Puede, no obstante, entrar en conflicto, si no se coordina, con otros sistemas de alerta temprana en su caso, que estén en funcionamiento en la autoridad competente.

Las nuevas infraestructuras que ya estén adaptadas al cambio climático en el que estamos inmersos, serán más eficientes y económicas. La ventaja de estas medidas es que son medidas llamadas '*no-regret*', siempre ayudarán a mejorar la calidad de vida y el atractivo de una ciudad verde y comprometida con la salud de sus ciudadanos.

Destinatarios

- Comunidades Autónomas
- Municipios
- Sistema de salud pública
- Oficinas de información turística
- Población vulnerable (ancianos, niños…)

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas
- Olas de calor

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

La traslación del efecto de las olas de calor extremas en la salud humana no es directa y necesita reproducir como el cuerpo humano se adapta o no, integrando ese incremento extremo. En diversas ciudades belgas utilizan el índice WBGT porque integra efectivamente las diferencias percibidas entre zonas de sombra y de sol (hasta 10ºC en Amberes). Esta propuesta supone un salto cualitativo respecto de las que solo usan la temperatura como indicador.

En la actual situación de cambio climático, todo lo que mejore la cuantificación de la exposición, en este caso al calor, de la población, por zonas y por grupos más vulnerables, sin duda puede contribuir a la adopción de las mejores soluciones posibles. Es decir, desde la Administración se puede llegar a conocer con el máximo detalle cuáles son las áreas de mayor riesgo para la salud de las personas más vulnerables.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Bruselas, Bélgica	VITO	2016	Aplicación del modelo UrbClim en la ciudad.
Antwerp, Bélgica.	Partenariado entre la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio ambiente	2017	Caso de aplicación de UrbClim en Antwerp.
Global	VITO	2017	Datos ráster[122] de valores de WBGT (EH-GLOBAL-VITO-20).
Zoo de Amberes, Bélgica	VITO	2019	Visor de datos climáticos

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Servicio de la salud de la Comisión Europea (Copernicus)
- UrbClim

[122] Un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura.

VITO

4.3.3.3 Sistemas de control inteligente de la contaminación atmosférica

(Autor: Xavier Rodó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Salud
- Urbanismo y edificación

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

El proyecto iSCAPE (*Improving the Smart Control of Air Pollution in Europe*) tiene como objetivo integrar y avanzar en el control de la calidad del aire y de las emisiones de gases de efecto invernadero en ciudades europeas, mediante el desarrollo de estrategias sostenibles de remediación pasiva de la contaminación ambiental, desarrollo de políticas y el estímulo de cambios en el comportamiento de los ciudadanos.

Los laboratorios de respuesta dinámica tienen como objetivo conseguir la reducción de la contaminación focalizando en objetivos particulares mediante una aproximación innovadora conducida por una empresa o consultoría ambiental, en concreto centrándose en el uso de sistemas de control pasivo en espacios urbanos.

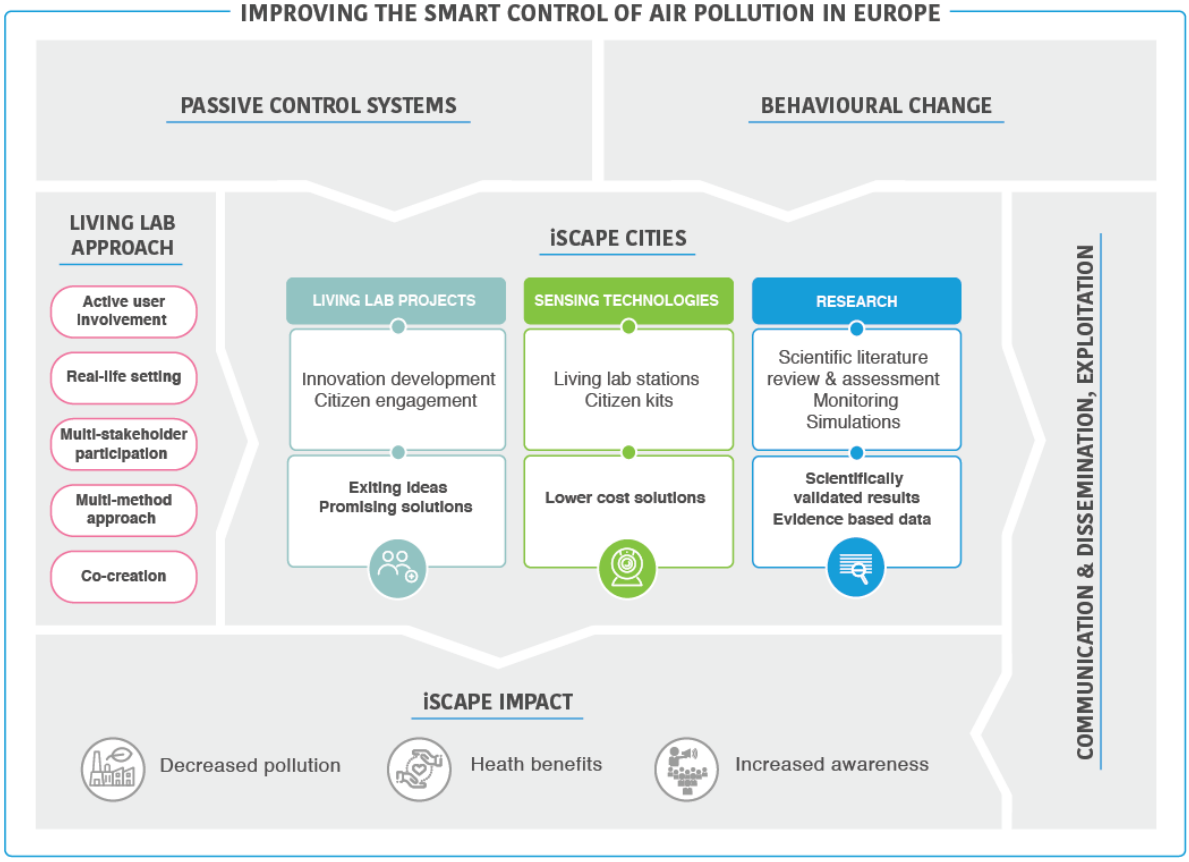


Figura 22. Diagrama operativo del funcionamiento de los Living Labs. Fuente: proyecto iSCAPE.

Estos grupos de trabajo o *Living Labs* estimulan el diálogo entre los ciudadanos de cada ciudad piloto y las entidades involucradas en la gestión urbana. Ello permite poner de manifiesto los retos no técnicos que la implementación de las nuevas medidas de control y reducción pueden conllevar. De esta forma se minimiza el rechazo, se optimizan las intervenciones conduciendo a una mayor eficiencia en el proceso y un mayor grado de aceptación social.

Descripción básica

En las ciudades piloto y utilizando cada *Living Lab*, el equipo instaló una red de sensores meteorológicos y de calidad del aire (tanto fijos como móviles), y demostró mediante análisis exhaustivos y la ayuda de modelos numéricos, los beneficios esperados de las intervenciones a escala de barrios y de la ciudad entera. Esto se hizo para diferentes aspectos, desde la cuantificación de las concentraciones de contaminantes, a el cálculo de la exposición y el riesgo. Iniciativas similares se han hecho en ciudades españolas, como Bilbao y Barcelona, con la ayuda y colaboración de estudiantes de másteres de *big data y machine learning* (p.ej. ISGlobal/UB y Ayuntamiento de Barcelona y UPV/BC3 y Ayuntamiento de Bilbao).

iSCAPE se apoya en el concepto "*smart cities*" mediante la promoción del uso de sensores low-cost, involucrando a los ciudadanos en el uso y el desarrollo de soluciones alternativas a los problemas ambientales. Un papel importante de iSCAPE fue la promoción y elevación posterior de los resultados obtenidos a los gestores públicos, proporcionando evidencia científica de las soluciones y cómo estas podían implementarse de un modo rápido y efectivo.

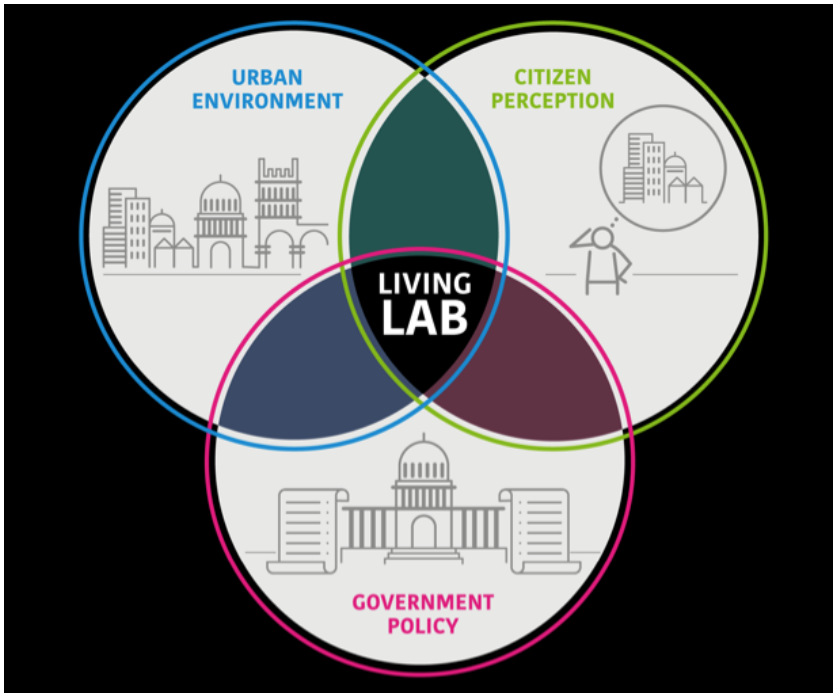


Figura 23. Los ISCAPE *Living Labs* no son solo una iniciativa tecnológica, si no que a la vez incluyen al ciudadano y los gestores públicos en la promoción del cambio de comportamiento. Fuente: proyecto iSCAPE

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Facilita la adaptación en otras actividades y sectores. Solución muy versátil. • Permite medir la reducción de los riesgos a los que se adapta. • Solución de ciencia ciudadana testada que minimiza el rechazo social de las intervenciones. • Asegura un desarrollo inclusivo de las estrategias y soluciones tecnológicas necesarias para actuar contra la contaminación y los efectos del cambio climático. • Promueve un sentimiento de propiedad de *los Living Labs* entre las comunidades locales y la administración local, garantizando así que las soluciones serán permanentes más allá de la propia duración del proyecto.	• Liderazgo en el modelo de cocreación ciudadana al comparar con lo que están haciendo otros municipios y Comunidades Autónomas. • El éxito depende de cada situación o entorno ciudadano. • Puede promover el rechazo de las autoridades competentes o de los técnicos encargados en cada ayuntamiento.

Potenciales barreras para su implementación

No se detectan barreras importantes para su implementación. La tecnología para usar dentro de los *Living Labs* es barata, y su uso en combinación con otros equipos de la red pública de control de la calidad del aire y de las estaciones meteorológicas es claramente beneficioso. Su bajo coste permite un mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos ágil. *Living Labs* permiten también la concienciación ciudadana[123] y la comunicación de la necesidad de reducir la contaminación urbana mediante acciones conjuntas con los ciudadanos para facilitar el cambio de comportamiento –p.ej. uso del transporte público, etc.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 8-9)

ISCAPE *Living Labs* es un proyecto consolidado que ha pasado de la fase de prueba a la de funcionamiento operativo en las ciudades en las que se ha implementado.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Dados los óptimos resultados del proyecto en las seis ciudades piloto (Guilford, Bolonia, Bottrop, Dublín, Hasselt y Vantaa) y en las cuáles sendos Living Labs continúan su actividad, se prevén que más ciudades opten a las mismas experiencias de cocreación de soluciones entre ciudadanos, consultorías ambientales y gestores públicos.

Resultados esperables

Las soluciones acostumbran a ser de dos tipos: sistemas de control pasivo y de estímulo al cambio de comportamientos. Una vez que las soluciones se han definido, se inicia la implementación de estas. Por un lado, el uso de tecnologías de monitorización remota y el desarrollo de dos tipos de categorías de kits de medición (*high-level monitoring kit* y *low-cost monitoring kit*). En paralelo, se diseñará y llevará cabo una campaña para analizar la eficiencia de dichas soluciones en relación con diferentes zonas urbanas o ciudades, y en diferentes estaciones del año.

Costes de instalación

Los equipos tienen un coste estimado de 250€ + IVA y los costes de instalación por equipo de unos 150€ + IVA. También serán necesarios costes de personal asociados a la organización.

Costes de operación

Los costes son limitados, puede haber cesión de espacios públicos y/o privados, centros cívicos y una armonización horaria que permita una reducción de costes de personal asociado a estos espacios. El mantenimiento supone el recambio de los equipos cada 3 años y los costes de personal necesario para efectuar el reemplazo y la puesta a punto. Se estiman en unos 2.500€ anuales + IVA para cada grupo de 20 sensores.

Aceptación social

Aceptación alta. Los agentes sociales se posicionan en estos momentos favorablemente a la cocreación de políticas urbanas destinadas a la mejora urbana y a la adaptación al cambio climático. En paralelo, la calidad del aire sigue siendo, al menos para algunas ciudades peninsulares, un problema no resuelto. Puede haber cierto rechazo por parte de aquellos sectores públicos que consideren que ya se están implementando. Puede necesitar de acciones de comunicación dentro de las administraciones públicas responsables.

Destinatarios

- Comunidades Autónomas
- Municipios
- Sistema de salud pública

[123] Proyecto ISCAPE

- Centros educativos o de actividades sociales de barrio.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Olas de calor
- Calidad del aire y sus impacto sobre la salud

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Esta aproximación integrada ciudadano-gestor permite una estrategia óptima de cara a afrontar los retos de la adaptación al cambio climático, que van a exigir sacrificios a menudo difíciles de entender y asumir. Por ejemplo, el cambio en los patrones y comportamientos de movilidad urbana, mediante el estudio compartido de las soluciones que pueden conducir a ciudades más sostenibles, resilientes al cambio climático y saludables, salvaguardando los criterios de equidad social.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Guildford, Bolonia, Bottrop, Hasselt, Vantaa, Dublín	iSCAPE proyecto EU	2019	Iniciativas de seguimiento y control pasivo de la contaminación, así como de creación de patrones de cambio de conducta en las ciudades de Guildford, Bolonia, Bottrop, Hasselt, Vantaa y Dublín.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Administración local y autonómica
- Planificación urbana
- Agencias y departamentos de salud pública
- Centros cívicos y sociales

4.3.3.4 Plataforma predictiva de brotes locales de arbovirus

(Autor: Xavier Rodó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Salud

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Plataforma que utiliza modelos matemáticos para predecir el riesgo de brotes locales de enfermedades infecciosas transmitidas por artrópodos, tales como moscas, mosquitos, garrapatas, etc. llamadas arbovirales, basándose en el control de una serie de variables climáticas, ambientales, demográficas y socioeconómicas de la región.

Descripción básica

ArboCat es una nueva plataforma para la predicción de brotes autóctonos de arbovirus, implementada para Cataluña con resolución a nivel de municipios (948 municipios). ArboCat permite calcular el Riesgo de Expansión Epidémica local a partir de la importación de casos por viajeros infectados provenientes de zonas de riesgo, mediante la utilización de un criterio para la clasificación de los brotes como epidemias (por ejemplo, más de 10 transmisiones autóctonas), y de este modo los expertos en salud pública pueden diseñar estrategias de actuación, monitorización y control a través de la estimación de la probabilidad de epidemia dado el número de casos observados en un municipio.

Además, mediante la simulación de distintos escenarios para el cálculo de R_0[124] (p.ej. cambio climático, proliferación de vectores, proyecciones económicas y demográficas, urbanísticas) es posible de cara a la planificación a medio-largo plazo, simular futuros escenarios de riesgo epidémico bajo-alto condiciones futuras de calentamiento global.

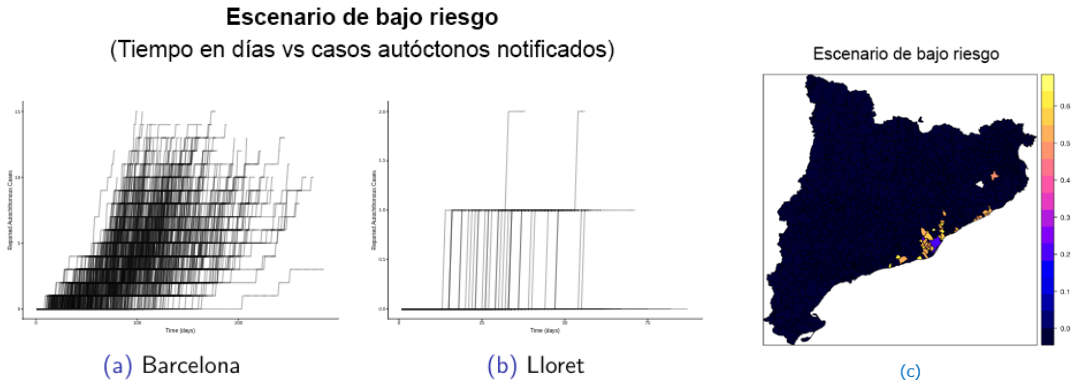


Figura 24. Ejemplo de proyección probabilística de los brotes epidémicos asociados a un escenario de bajo riesgo para dos municipios de diferentes condiciones de riesgo: (a) Barcelona, (b) Lloret. (c) Mapa de riesgo relativo en Cataluña para un escenario de riego bajo. Fuente: ISGlobal, 2019.

ArboCat está formada por tres submodelos que proporcionan estimaciones de las tasas de importación y el número reproductivo básico (R_0), y que ajustan un modelo compartimental estocástico que proporciona el tiempo de generación. ArboCat proporciona simulaciones del riesgo de brotes autóctonos y las curvas epidémicas para los escenarios de cambios socioeconómicos y climáticos, tanto presentes como futuros. La plataforma contiene tres

[124] R0 es un valor define el número reproductivo básico de una epidemia.

modelos matemáticos acoplados que permiten una fácil visualización del riesgo de brotes epidémicos a escala municipal, así como de la magnitud y la evolución de este.

Es posible seleccionar información epidemiológica diversa a distintos niveles y a escala municipal y visualizar la información relacionada con los brotes epidémicos correspondientes. Es fácilmente adaptable a cualquier otro entorno geográfico.

ArboCat utiliza un Proceso de Ramificación de Markov para el tránsito de las personas entre diferentes compartimentos (denominados en función del estado de los individuos, como susceptibles o S, expuestos o E, infectados o I y recuperados o R), para modelar los brotes. Las simulaciones se inician con un único caso importado. La evolución temporal está gobernada por las probabilidades diarias de los individuos infectados de progresar hacia los estados E, I, R. El modelo toma en consideración de forma explícita el seguimiento de los casos importados y autóctonos, así como de los casos notificados y no-notificados. De forma no explícita, el modelo tiene en cuenta el seguimiento de las dinámicas de los mosquitos (ajuste del tiempo de generación para la transición E-I). El diagrama siguiente resume todo el proceso de tránsito de individuos entre compartimentos.

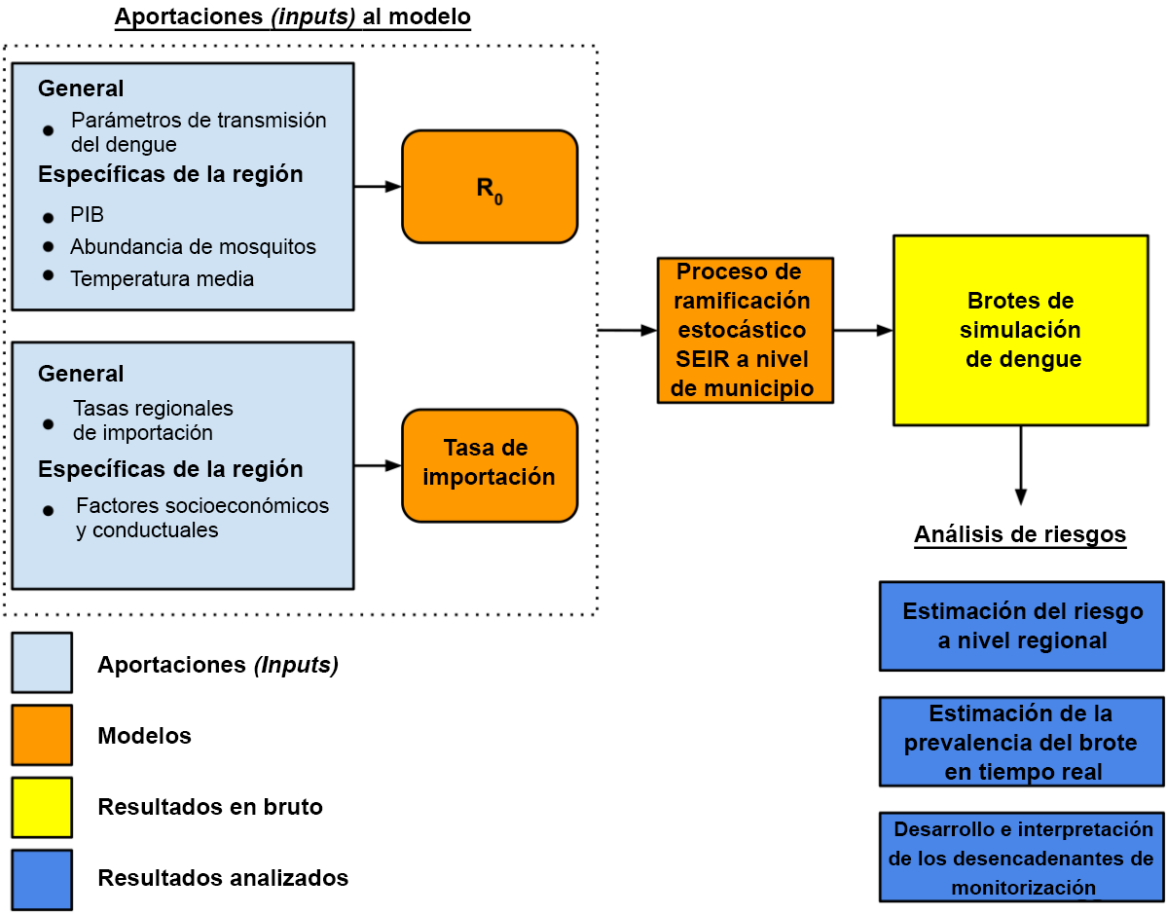


Figura 25. Tipología de procesos y estructura de los modelos conectados en ArboCat. Datos iniciales mínimos requeridos y salidas en forma de análisis de riesgos. Fuente: Arbocat.

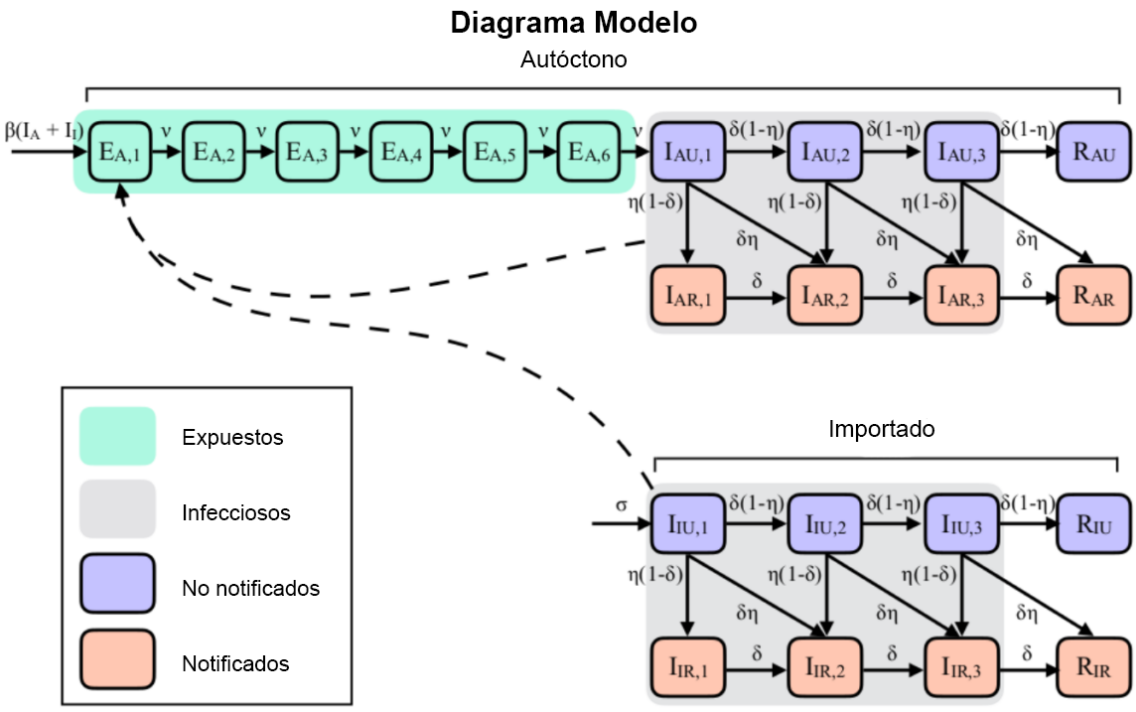


Figura 26. Diagrama de flujo de la plataforma ArboCat. Fuente: Arbocat.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Permite la previsión operacional del riesgo de brote autóctono. Permite la modelización de las poblaciones humanas para la generación de mapas instantáneos de riesgo. • Su naturaleza modular optimiza la integración de información y el cálculo intensivo. • El continuo desarrollo de tecnologías de inteligencia artificial y *big data* asociado al modelo, mejoran la integración en cada área y situación. • Visualización fácil de los resultados • Durabilidad. • Portabilidad.	• Necesita de una coordinación efectiva para integrar los diferentes proveedores de datos y su operativa en red en la Comunidad. • Requiere de la implementación del sistema de cálculo en una arquitectura computacional compatible. • Gran cantidad de factores puede resultar en una gran cantidad de datos a analizar en tiempo real, con costes diferentes.

Potenciales barreras para su implementación

Las barreras (o requerimientos) para la implementación de la plataforma ArboCat se clasifican en 4 bloques.

- Tecnológicas: Será necesario disponer de una red articulada entre los diferentes actores del sistema que den soporte a la implementación operativa de ArboCat. Adicionalmente será necesario actualizar la red informática y/o arquitectura de cálculo y las salidas del sistema hacia los usuarios implicados (centros de salud, municipios, salud pública, sistemas de vigilancia y control de mosquitos...)
- Regulatorias: Aun cuando en ArboCat se utilizan datos anonimizados, el uso de datos personales tendrá que ser regulado cuando la detección de un caso infectado pueda ser relevante para el control epidemiológico.
- De comunicación: Hará falta establecer unos canales de comunicación fluidos entre todas las partes y actores implicados para la provisión de datos (meteorológicos,

pacientes por parte de sanidad, control de vectores, municipios, nodos del sistema de salud).

- Roles y responsabilidades de las partes interesadas: Será necesario, entre otros requisitos, establecer unos canales de comunicación óptimos para la colaboración entre proveedores de datos meteorológicos, de vectores y de salud pública (mediante el acceso a los datos de viajeros diagnosticados con alguna enfermedad arboviral), con el fin de mejorar la sinergia necesaria entre la generación de los mapas y previsiones de riesgo de brote local en las diferentes zonas.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

No existen en la actualidad a nivel europeo aplicaciones similares a ArboCat basadas en la evolución epidémica para brotes de arbovirus tales como el *dengue*, el *zika* o el *chikungunya*. Las que hay se basan o en índices estadísticos o en la previsión del riesgo en base a la distribución de vectores (p.ej. mosquitos) y no integran dinámicamente los casos importados infectados por viajeros que retornan de zonas endémicas. Esta herramienta está ya en modo operacional.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se incorporarán y cargarán en la plataforma durante la época de proliferación del mosquito tigre en las diferentes regiones, las actualizaciones de las simulaciones de forma automática, con el objetivo de mejorar la calidad de las predicciones. Las colaboraciones internacionales del grupo desarrollador (instituto de investigación en Cataluña) con la Universidad de Texas en Austin, CDC, ECDC, así como los socios locales (ASPCat, CREAF, VHIR, red interdisciplinar PICAT) garantizan un desarrollo prometedor de mejoras futuras en la capacidad de la plataforma para identificar las nuevas amenazas para la salud pública causadas por las infecciones arbovirales.

Asimismo, se prevé aumentar la capacidad de integración de datos ambientales y socioeconómicos en la plataforma, así como el testeo con algoritmos alternativos de cálculo.

Resultados esperables

Se dispondrá de los mapas de riesgo de brotes de arbovirosis locales (p.ej. *dengue, chikungunya y Zika*) a tiempo casi-real durante la época de mayor riesgo de transmisión, debido a la proliferación del mosquito competente y potencialmente portador. Igualmente, como se generan unas previsiones de riego de brote local, en función del número de casos importados y el lugar, se proveen los escenarios y las herramientas para diseñar actuaciones adecuadas del sistema de vigilancia y salud pública.

Es de esperar que en paralelo y en caso de ser necesario, esta plataforma pueda ampliarse a otras infecciones, como en el caso de Virus del Nilo Occidental (WNV).

Costes de instalación

Los costes de instalación varían dependiendo de las condiciones locales para la implementación del sistema en base a un contrato de licencia inicial de instalación (coste aproximado: 25.000€) y renovación anual (6.250€/año). Se requiere disponibilidad de tiempo de cálculo en clúster de cálculo o servidores en paralelo, capacidad de almacenamiento de datos y un técnico informático de apoyo a la instalación.

Alternativamente, se puede contratar todo el servicio en remoto en origen (licencia inicial más renovación), para lo cual no hará falta proveer de tiempo de cálculo, almacenamiento ni soporte informático, más que el necesario para la integración del servicio en la página web que se pretenda crear o integrar en una plataforma de referencia ya establecida.

Costes de operación

Los costes de mantenimiento van en función del tipo de instalación y soporte requeridos. Para una operativa totalmente independiente de origen, se estima la necesidad de un ingeniero de software a dedicación parcial durante 6 meses (p.ej. control de la operativa de cálculo distribuido en clúster de computación, generación de las simulaciones 1 mes antes y después de las épocas de más alto riesgo de transmisión y posprocesado de resultados para su visualización). Se ha de sumar a lo anterior, el coste del tiempo de cálculo en un clúster de cálculo si la resolución requerida es la diaria o en servidores conectados en paralelo si es semanal. En Barcelona, los gastos mensuales de cálculo, y almacenaje de datos para la plataforma se estimaron alrededor de unos 1.200€/mes. En el caso de un contrato de servicios, el coste es más limitado y se estima en total alrededor de 9.000€-10.000€/año.

Aceptación social

En general siempre que la solución esté bien gestionada se prevé una buena aceptación, dado que esta plataforma es una herramienta informativa y de gestión. El conocimiento del riesgo basal previo en un municipio puede en vez de generar alarma, inducir a medidas preventivas que disminuyan el riesgo. Esto puede presentarse como un logro en positivo y reevaluarse la nueva previsión de riesgo después de las actuaciones (control por fumigación u otros de las poblaciones de mosquitos, campañas de sensibilización, etc.) La definición de qué niveles de salida de información se habilitan para el público en general, pueden decidirse en función de la necesidad u oportunidad. Todos los resultados en principio están diseñados computacionalmente para que puedan proveerse en acceso abierto, dependiendo de las necesidades o voluntad del usuario.

Destinatarios

- Comunidades Autónomas
- Municipios
- Sistema de salud pública
- Servicio de atención al viajero
- Servicio de control de mosquitos

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Enfermedades emergentes
- Alarma social
- Variabilidad de la temperatura

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Plataforma predictiva de brotes locales de arbovirus permite la previsión operacional (diaria, semanal, mensual) del riesgo de brotes locales de arbovirosis a escala municipal durante la época del año favorable climáticamente a la propagación de la enfermedad debido a la picadura de los mosquitos *Aedes albopictus*, lo cual se alinea con la necesidad de cubrir información de alto interés para el ciudadano. Esto posibilita campañas de prevención (fumigación de áreas potenciales de cría, campañas informativas, concienciación ciudadana) y la participación ciudadana (identificación de vectores, p.ej. MosquitoAlert).

Actualmente, como consecuencia de la globalización y por efecto del cambio climático, en España tenemos ya instalado el mosquito *Aedes albopictus* (mosquito tigre) competente para transmitir varios arbovirus como el dengue, chikunguña y zika. El caso del dengue ya es una realidad porque se han notificado varios casos. Existe además la amenaza del *Aedes aegypti*, cuyos rangos de distribución también se están expandiendo debido de nuevo al efecto combinado con el cambio climático, y por ejemplo existe riesgo de entrada desde Canarias (como ya ocurrió hace dos años, aunque no pudo finalmente instalarse). El tráfico de mercancías y personas entre la isla de Madeira, donde está ya instalado, y las Islas Canarias,

hace que esta realidad sea muy probable. Otro aspecto muy diferente son los brotes que estas importaciones pueden ser capaces de producir. Con las enfermedades emergentes el Centro de Coordinación de Alertas y Emergencias Sanitarias (CCAES) está llevando a cabo evaluaciones del riesgo con el objeto de saber las probabilidades que tiene de que se conviertan en endémicas. En el caso del dengue, la evaluación llevada a cabo concluye[125]: "El riesgo para la salud Pública de dengue autóctono en España, en el contexto actual, se considera bajo. Aunque no se puede descartar que aparezcan nuevos casos de transmisión vectorial autóctona, el impacto sería bajo dado el carácter leve de la enfermedad".

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Cataluña	ASPCat	2019	La ASPCat colaboró en el proyecto PICAT (PERIS, GenCAT) que articuló la red de conexión entre el sistema de Atención a viajeros, los CAP y el Departament de Salut y el sistema de control de mosquitos. Se presentó la herramienta ARBOCAT públicamente pero aún no se ha implementado operacionalmente debido a la pandemia de la COVID-19.
Texas, EEUU	Texas Public Health Agency	2017	El Dep. of Integrative Biology de la Universidad de Austin (Texas), colaborador en ArboCat diseñó un sistema similar, aunque más simplificado, que ya funciona operacionalmente, en este estado americano.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- IS Global
- Agencia de Salut Pública de Cataluña
- Instituto de investigación Vall d'Hebron
- Mosquito Alert

[125] Ministerio de sanidad, consumo y bienestar social.2019.

4.3.3.5 Monitorización ciudadana de la calidad del aire

(Autor: Xavier Rodó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Salud
- Contaminación
- Alerta temprana

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

La digitalización de bajo coste al alcance de los ciudadanos ofrece oportunidades únicas en el contexto de las ciudades inteligentes con herramientas para crear 'ciudadanos inteligentes' Con kits portátiles se generan datos en tiempo real que permiten aumentar la concienciación sobre la contaminación atmosférica en áreas urbanas.

Del mismo modo, se contribuye a crear interés y participación ciudadana en la búsqueda de soluciones a un problema tan importante. El proyecto o plataforma *Smart Citizen*, con el modelo más reciente *Smart Citizen* Kit 2.1., cuenta con más de 9 mil usuarios registrados y más de 1.900 sensores distribuidos en más de 40 países.



Figura 27. Sensor instalado en Barcelona dentro del proyecto BGG UIA. Fuente: AIRLAB, ISGlobal.

Descripción básica

Se trata de la instalación de sensores de bajo coste de medición de calidad del aire (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1), datos meteorológicos (humedad, presión atmosférica, temperatura), datos de emisiones de gases (eCO2, TVOC), luz y ruido. La instrumentación es de fácil instalación, con los equipos conectados en red wifi para la transmisión de datos a tiempo real.

Esta iniciativa conecta con una población urbana creciente y altamente sensibilizada, en la que los propios ciudadanos recolectan datos ambientales reales y de utilidad 'científica'. Así, *Smart Citizen* es también una plataforma que empodera a los ciudadanos incentivándoles a conocer más sobre los espacios urbanos y su papel en las comunidades. Aunque el proyecto se inició en 2012 por parte del proyecto *Fab Lab Barcelona* y el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña, en 2019 se comercializó su hardware de última generación, el Smart Citizen Kit 2.1. Tanto el software como el hardware de Smart Citizen son gratuitos y de uso mediante licencias de código abierto.

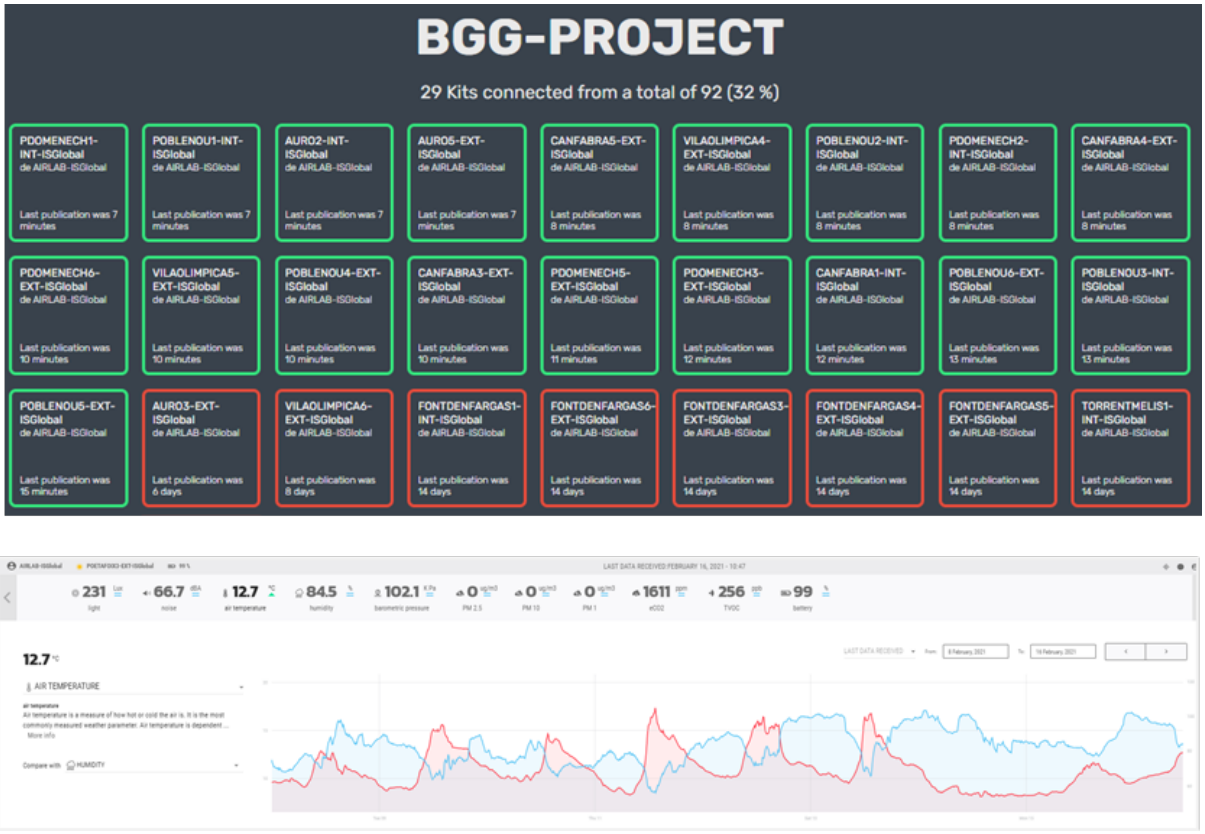


Figura 28. (superior) Ejemplo de *SmartCitizen kits* conectados en línea (sensores verdes activos) en 15 escuelas de Barcelona, así como (inferior) ejemplo de visualización de datos comparados entre variables. Fuente: AIRLAB, ISGlobal.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Facilita la adaptación en otras actividades y sectores. • Permite medir la reducción de los riesgos a los que se adapta. • Visualización fácil de los resultados. • Bajo coste y reducido mantenimiento. • Escalabilidad por tramos en función del número de equipos a instalar, modular • La *plataforma Smart Citizen* está abierta y online, así como toda la documentación • Existe un foro para intercambio de información. • Contribuye a empoderar a la ciudadanía en la lucha contra el cambio climático.	• Potencial vandalismo con los equipos. • Intercalibración necesaria con regularidad con equipos de mayor precisión. • Si se quieren generar mapas operacionales (p.ej. diarios), requiere de personal técnico dedicado. • Para la alimentación necesita conexión eléctrica o placa solar.

Potenciales barreras para su implementación

No se detectan barreras importantes para su implementación. La tecnología es barata, está bien reconocida internacionalmente y su uso en combinación con otros sistemas de alerta públicos es claramente beneficioso. Su bajo coste permite una sustitución inmediata de los equipos, si se estropean o sufren actos vandálicos. Permiten también la concienciación ciudadana y la comunicación de los efectos de la contaminación urbana y el cambio climático.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

La tecnología *Smart Citizen* está ya en un grado de desarrollo y de explotación de mercado, mientras que su facilidad de uso y prestaciones la posicionan como una alternativa real y muy válida frente a la producción centralizada de datos y gestión, a menudo opaca, de este tipo de

información. El concepto de empoderar al ciudadano de a pie es innovador y de alto valor, dado también el foro comunitario y los numerosos usuarios conectados en red por todo el mundo.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Dada su facilidad de uso, se prevé la mejora de los sensores, con una mayor estabilidad y sensibilidad de las medidas. Igualmente, es de esperar un asentamiento de la iniciativa a nivel internacional con el incremento del número de usuarios, la participación de los proyectos iniciales en foros internacionales de ciencia ciudadana, a la par que la publicación habitual de resultados en revistas científicas.

Resultados esperables

Diversas iniciativas en el ámbito científico y de divulgación, en proyectos de ayuntamientos para la monitorización ambiental (p.ej. escuelas verdes en Barcelona y Ámsterdam), así como de educación en bachillerato y primeros cursos universitarios, están usando este tipo de equipos de bajo coste, en experiencias comunitarias. Estas iniciativas permiten caracterizar los niveles de contaminación de escuelas, hospitales y de las zonas residenciales, hecho que motiva a la búsqueda de soluciones para minimizar la exposición a contaminantes, también por parte de los ayuntamientos y gestores de salud pública.

Costes de instalación

Los costes de instalación dependerán del número de equipos de medición instalados. Según datos de 2019, un equipo individual de sensores inteligentes ronda los 300€ más IVA. A ello hay que sumarle la instalación de los sensores en farolas, semáforos u otros puntos elevados 4-5 m para evitar potencial pillaje o vandalismo. Se tiene que proveer la conexión eléctrica y de wifi a la red. Puede optarse por una batería autónoma mediante placa solar que incrementa unos 150- 200€ más IVA el coste individual de cada sensor.

Costes de operación

Hay que considerar los costes de mantenimiento (calibración de sensores), servicios de electricidad e internet, revisión de equipos y seguridad, así como el del post procesado de la información y la generación de los productos y servicios (mapas, series temporales, etc.)

Aceptación social

En general es de esperar una aceptación alta de esta tecnología, de la que existe demanda por parte de agentes sociales y/o aporta beneficios sociales más allá de la adaptación del cambio climático. Se trata de una solución muy específica, aunque aplicable fácilmente y en una planificación de implementación modular por etapas, municipios, incrementando la resolución (más sensores) a demanda. Puede, no obstante, entrar en conflicto –si no se coordina- con otros sistemas de control de la contaminación, que estén en funcionamiento en la autoridad competente, y con los que se debería intercalibrar cada cierto tiempo.

Destinatarios

- Comunidades Autónomas
- Municipios
- Sistema de Salud Pública
- Población vulnerable (ancianos/residencias de la tercera edad, niños/escuelas)

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Olas de calor
- Contaminación atmosférica

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En una dinámica de cambio climático acelerado, conocer con mayor fiabilidad distribución de la contaminación permitirá acometer medidas urbanísticas y de movilidad. También ayudará a determinar los mecanismos y espacios en donde ejercer preferentemente las acciones de control de emisiones y la minimización de riesgos por parte de las poblaciones más vulnerables.

Responde también a la concienciación y empoderamiento ciudadano respecto del cambio climático y lo pasa de sujeto pasivo o espectador, a sujeto activo.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Barcelona	FabLab	2012	Aplicación de Smart Citizen en Barcelona.
Diferentes ciudades europeas	EU	2015-2021	Despliegue mediante los proyectos Making Sense, iSCAPE, Organicity and GROW Observatory.
Ámsterdam	VITO	2019	Plataforma Smart Citizen y foro de participación. https://amsterdamsmartcity.com/

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

Se estiman los siguientes agentes de interés según la experiencia de EURECAT en estudios previos y proyectos europeos en los que se ha participado:

- Consejerías de urbanismo
- Entes de planificación urbana
- Consejerías de medio ambiente
- Agencias o departamentos de salud pública
- Ciudadanía y agentes sociales
- Agentes de comunicación del cambio climático y la contaminación

4.3.3.6 Absorción de la contaminación atmosférica por la vegetación urbana

(Autor: Xavier Rodó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Salud
- Urbanismo y edificación
- Biodiversidad y patrimonio

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Consiste en la implantación de pantallas vegetales de abedules jóvenes u otras especies similares en calles de tráfico intenso a modo de barreras vegetales contra el material ultrafino originado por la combustión de vehículos, debido a los componentes tóxicos que contienen. La efectividad de algunas especies vegetales en la reducción de las concentraciones de NO_2, de PM_{10} y de partículas de menor tamaño es un tema altamente debatido y el uso de especies arbustivas o arbóreas con hojas pilosas (abedules jóvenes). En forma de densos muros vegetales en calles con mucho tráfico, ha constatado una reducción muy notable en la concentración de partículas finas en el aire circundante, contribuyendo a la mejora también de la calidad del aire[126,127].

Descripción básica

La exposición al material particulado (PM_{10}, $PM_{2.5}$ y partículas ultrafinas) y al NO_2 en el aire por la combustión de vehículos se ha asociado con mortalidad prematura y con un abanico de enfermedades inflamatorias, en conexión a estos contaminantes. Entre dichas partículas, aquellas por debajo de 1 micrómetro (nanopartículas o ultrafinas) no se miden porque, hasta ahora, no están reguladas en directivas europeas, si bien hay previsión que lo estén en breve. Ello se debe a que se han relacionado con una mayor incidencia de asma, infartos de cerebrales, de miocardio y otras afecciones cardíacas, diabetes, obesidad y demencia[128],[129]. Existe del mismo modo evidencia de que la exposición a la contaminación del tráfico reduce las capacidades cognitivas de los niños, dañando su sistema nervioso central y que las partículas ultrafinas pueden llegar hasta el tejido cardíaco y dañar el corazón.

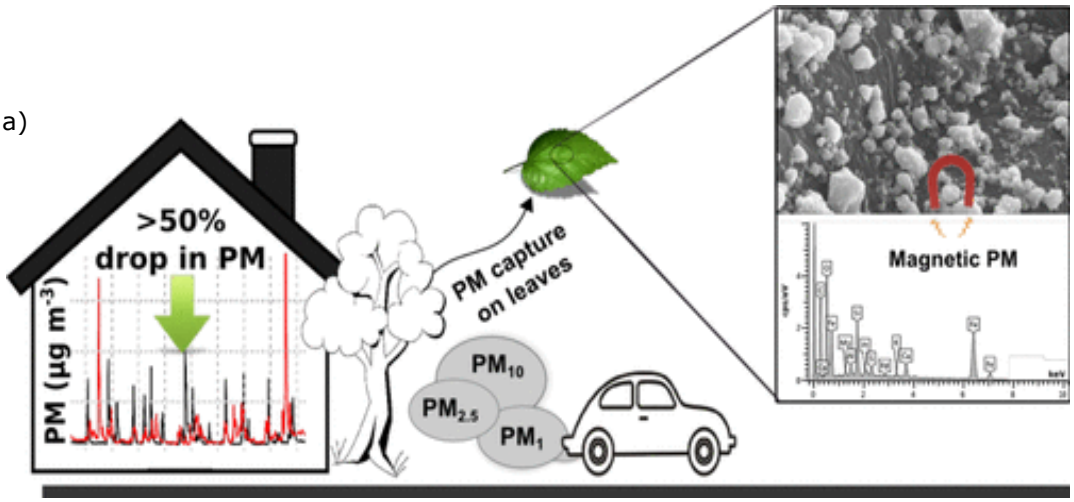
[126] Maher, Barbara; Ahmed, Imad, A. M.; Davison, Brian; Karloukovski, Vassil and Clarke. Robert (2013). Impact of Roadside Tree Lines on Indoor Concentrations of Traffic-Derived Particulate Matter. Environmental Science & Technology 2013 47 (23), 13737-13744

[127] Wang, H. et al. 2019, "Efficient removal of ultrafine particles from diesel exhaust by selected tree species: implications for roadside planting for improving the quality of urban air," Environ Sci Technol,.

[128] Maher, Barbara Ann; Ahmed, Imad; Karloukovski, Vassil Vassilev; MacLaren, Donald; Foulds, Penelope; Allsop, David; Mann, David; Torres-Jardon, Ricardo; Calderon-Garciduenas, Lilian (2016). Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 113, No. 39, 27.09.2016, p. 10797-10801.

[129] Maher, Barbara et al (2019). Combustion- and friction-derived magnetic air pollution nanoparticles in human hearts. Environmental Research. 176.

a)



b)





Figura 29. a) Diagrama esquematizado ilustrando el efecto de las barreras arbustivas frente a la contaminación urbana (Fuente: Maher et al., 2013). b) Ejemplo de seto arbustivo a media altura con efectividad en la captura de partículas. Fuente: elaboración propia.

Estudios realizados con plantas jóvenes de algunas especies vegetales (abedules, pero también el tejo) se muestran altamente efectivas en la captura de un amplio rango de tamaños del material particulado. La instalación de una línea tupida de abedules jóvenes permite una reducción superior al 50% en los niveles de partículas medidos en las casas inmediatamente adyacentes, en comparación a aquellas viviendas sin estas barreras protectoras. Los compuestos capturados por la pilosidad de las hojas son ricos en hierro al igual que las partículas ultrafinas esféricas derivadas de la combustión de vehículos.



Figura 30. Hojas de tejo (*Taxus baccata*), que han mostrado alta capacidad de retención de partículas ultrafinas. Fuente (foto): Pxhere.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Facilita la adaptación en otras actividades y sectores • Beneficios de la vegetación para la salud, así como sumidero de CO_2). • Refugio de biodiversidad y mejora del paisaje urbano. • Permite medir la reducción de los riesgos a los que se adapta. • Muy bajo coste de instalación y mantenimiento. • Escalabilidad en función de las calles o sectores a intervenir. • Tiene un cociente coste/beneficio muy favorable.	• No todos los árboles son adecuados (y en el caso de los tejos, los frutos pueden ocasionar molestias ya que son venenosos). Los abedules producen polen, que puede causar alergias. • Los cinturones de vegetación pueden evitar la recirculación del aire e incrementar los niveles de contaminantes[130]. • Tecnología poco testada en condiciones naturales (solo en un par de localidades en Inglaterra se ha cuantificado el efecto de manera directa). • Las diferencias entre el uso de árboles o de arbustos pueden ser notables en la capacidad de captura de contaminación. • Los árboles altos o de alta copa pueden atrapar la contaminación en su interior, resultando más nocivos que beneficiosos para aquellos ciudadanos expuestos. • Hace falta un plan de recogida de aguas pluviales y de riego adaptado a recoger mayores concentraciones de contaminantes en las aguas de alcantarillado. Se requiere un plan de depuración de aguas asociado.

Potenciales barreras para su implementación

No se detectan barreras importantes para su implementación. La solución es muy barata y conlleva beneficios combinados en salud, bienestar y en acceso a espacios verdes recreacionales. Su bajo coste permite una sustitución inmediata de los arbustos, si fuese necesario. Permiten también la concienciación ciudadana y la comunicación de la necesidad de protegerse de la contaminación que generan los vehículos. También mediante actividades de ciencia ciudadana.

En el caso de árboles de gran tamaño, puede ser problemático por el crecimiento de raíces en el caso de algunas especies. También, debido a que los abedules adultos son de hoja caduca y en invierno pierden las hojas, hay que combinarlo con otras soluciones alternativas.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 7-8)

No existe una manera sencilla, barata y efectiva de eliminar el material particulado (y entre este, en particular el ultrafino) que es fácilmente respirado y penetra en órganos como el corazón, cerebro o el hígado. La mayor parte de las directivas de regulación de la contaminación se basan en medidas de masa de material particulado y, por lo tanto, las partículas ultrafinas (nano escala) contribuyen muy poco a esta masa total, aun cuando son las más numerosas[131]. Estos setos de especies con hojas altamente pilosas ofrecen un método muy efectivo de captura y retirada de estas partículas altamente peligrosas, testado además con éxito. Experimentos con túneles de viento han demostrado que las hojas de estas especies atrapan un número considerable de partículas con un diámetro menor a los 100 nanómetros. Los abedules jóvenes son por ahora, los árboles que muestran mayor capacidad de captura de partículas, eliminando del aire hasta un 79 por ciento de esas partículas ultrafinas. Les siguen los tejos y los abedules más maduros con capturas alrededor del 70 por ciento.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que en los próximos años esta solución muy económica de captura de partículas y basada en la naturaleza se utilice de manera masiva como primera barrera de protección en

[130] VesaYli-Pelkonen et al, 2017.

[131] Maher, Barbara. (2019). Airborne Magnetite- and Iron-Rich Pollution Nanoparticles: Potential Neurotoxicants and Environmental Risk Factors for Neurodegenerative Disease, Including Alzheimer's Disease. Journal of Alzheimer's Disease. 71. 1-14.

aquellas vías de tráfico denso o nudos de congestión urbana, y hasta que se produzca la sustitución del parque automovilístico de combustión por uno eléctrico o se vayan declarando zonas de bajas emisiones. Esto siempre que se implanten especies adaptadas al clima mediterráneo que ofrezcan prestaciones similares a las del abedul y el tejo en climas atlánticos. Se espera entonces que a investigación pueda proporcionar nuevos datos al respecto.

Resultados esperables

Las 'trampas' ideales de material particulado y de los óxidos de nitrógeno serían especies –aun cuando arbóreas, no solo arbustos- que se mantengan como setos, es decir sin dejar que se desarrollen como árboles altos y como máximo de altura igual a una persona. Los abedules, de hoja pilosa, sobresalen por su capacidad de atrapar partículas de hasta menos de 30 nanómetros. Idealmente estas paredes verdes deben de dejar pasar el aire y por tanto no ser totalmente estancos al flujo y las corrientes de aire. De todas maneras, cabe remarcar la necesidad de hacer una evaluación precisa para no tener un efecto contrario, que ocurriría si los árboles formaran una copa densa y alta, que empeorarían la contaminación debido a que reducen la ventilación y la mezcla de aire.

Idealmente, las partículas se mantienen en las hojas hasta que el agua se las lleva por lixiviación debido a lluvias intensas, con lo cual recuperan su capacidad de absorción. Esta agua debe de tratarse mediante un proceso de depuración de aguas residuales.

Costes de instalación

Los costes de instalación varían en función de la extensión del recorrido en el cual se quiere hacer la actuación.

Costes de operación

Se estiman costes mínimos de mantenimiento. Si que se prevén costes derivados del reciclaje y depuración de las aguas pluviales que recogen los materiales derivados de la contaminación, atrapados en la cubierta vegetal.

Aceptación social

En general es de esperar una aceptación alta sin necesidad de un proceso de sensibilización (campaña de comunicación, publicidad…). Solución muy específica, aunque aplicable fácilmente y en una planificación de implementación modular por etapas, en municipios y con vegetación singular y especialmente adaptada al entorno climático de interés.

Estas actuaciones dirigidas ya se contemplan en un marco de adaptación al cambio climático. La ventaja de estas medidas es que son medidas llamadas 'no-regret', siempre ayudarán a mejorar la calidad de vida y el atractivo de una ciudad verde y comprometida también con la salud de sus ciudadanos.

Destinatarios

- Comunidades Autónomas
- Municipios

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Aumento de la contaminación atmosférica
- Olas de calor

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

La presente solución encaja perfectamente entre las adaptaciones al cambio climático a través de la reducción a la exposición a los contaminantes del tráfico rodado, que también contribuyen

a él. En paralelo está claro también que incrementar la cobertura vegetal contribuye –aun cuando de un modo limitado- a reducir el efecto de isla de calor urbana al reducir la superficie de asfalto en las calles. Claramente esta solución basada en la naturaleza posee, como se ha destacado en publicaciones recientes, muchos otros efectos positivos en incidir en el bienestar de las personas. Estudios recientes muestran que la mayor proximidad a las áreas verdes urbanas se traduce en un menor riesgo de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas, al igual que contribuye a una mejora de la salud mental y emocional de las personas.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Helsinki, Finlandia	Universidad de Helsinki	2017	Estudio en área metropolitana de Helsinki para niveles de NO_2. El artículo contempla el potencial empeoramiento de las condiciones de calidad del aire en condiciones de mala circulación de aire.
Lancaster	Universidad de Lancaster	2013	Aplicación en calles del centro de Lancaster con diferentes especies para comprobar su capacidad de retención de partículas

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ayuntamientos y comunidades autónomas
- Consejerías de urbanismo y zonas verdes
- Salud pública
- Agencias de control de la contaminación urbana.

4.3.4 Agricultura, ganadería y alimentación

4.3.4.1 Energía agrovoltaica

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agricultura, ganadería y alimentación
- Energía
- Agua

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

La energía agrovoltaica, también conocida como agrofotovoltaica, consiste en aprovechar una misma superficie de terreno para obtener tanto energía solar fotovoltaica como productos agrícolas. Es decir, los paneles solares conviven con los cultivos sobre la misma superficie. Esta técnica fue concebida originalmente por Adolf Goetzberger y Armin Zastrow en 1981, pero el concepto no comenzó a popularizarse hasta bien entrado el siglo XXI.

Descripción básica

La instalación de paneles solares sobre los cultivos es capaz de aumentar la productividad global por hectárea ya que la producción agrícola se complementa con producción energética. También supone una herramienta para proteger los cultivos del exceso de insolación o incluso de las heladas y el granizo. El uso de esta tecnología ha probado ser una herramienta útil para la reducción del consumo de agua, reducción del efecto de olas de calor sobre los cultivos y mejora de la producción y calidad del cultivo.

Este sistema de uso combinado del suelo permite mitigar por un lado los efectos de eventos climáticos sobre los cultivos (sequias, granizo o heladas), ya que la correcta orientación de las placas genera un microclima bajo ellas. Por otro lado, la generación de energía paralelamente al cultivo minimiza el riesgo económico de la producción y aumenta la autonomía energética de la misma.

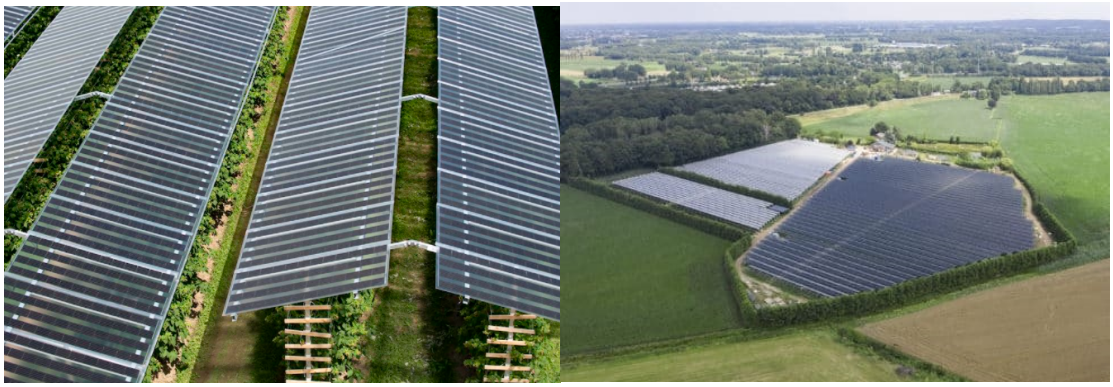


Figura 31. Instalación agrovoltaica en Holanda. Fuente: PV-magazine.

Existe una gran variedad de instalaciones que se adaptan a cada tipo de cultivo, ya sean paneles montados en altura para permitir el paso de maquinaria agrícola, instalados en paralelo a invernaderos, en los márgenes de los cultivos o entre ellos alternando zonas de cultivo y zonas de explotación solar.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Limitación de los eventos climáticos extremos sobre los cultivos. • Aumento de más del 30% del valor económico de la explotación debido a la diversificación del negocio agrícola. • Reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero por la generación de energía renovable. • Reducción de la presión sobre ecosistemas y biodiversidad. • Amortiguar costes de la energía en explotaciones de regadío**.**	• El exceso de sombra puede llevar a disminución de la producción según el cultivo. • Limitaciones geográficas ya que se necesita una buena exposición a la luz solar. • Alta inversión inicial. • Potencial impacto paisajístico.

Potenciales barreras para su implementación

No todos los cultivos son aptos para ser adaptados a esta tecnología, y hay que tener en cuenta la localización de la explotación en términos de exposición solar.

Otra barrera es el elevado coste de la instalación, que quedaría amortizado a lo largo de la explotación. Una posible solución que proponen algunas empresas es separar la explotación agraria de la fotovoltaica, de modo que se ponen en contacto agricultores y productores de electricidad para llegar a un acuerdo de explotación que beneficie a ambos.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 8

Estos sistemas llevan años desarrollándose, habiéndose probado su eficiencia tanto a nivel agronómico como energético.

El nivel de desarrollo ha llegado al punto de favorecer el crecimiento del cultivo, ya que se usan los paneles fotovoltaicos como parasoles, de forma que se pueden inclinar para favorecer u obstaculizar el paso de la luz en las épocas del año o los momentos del día de mayor insolación, según las necesidades del cultivo. Lo mismo ocurre por la noche, donde los paneles pueden evitar heladas, o en episodios meteorológicos adversos en los que los paneles pueden proteger al cultivo del granizo.[132]

Esta tecnología está disponible para cultivos extensivos, para invernaderos, cultivos intensivos, etc. Según los estudios, los cultivos de tomates, pimientos, bayas y viñedos son los más adecuados para las prácticas agrovoltaicas, ya que requieren sombra para crecer[133]. El diseño de la instalación debe estar adaptado a cada situación, debiéndose hacer un estudio previo de viabilidad.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que la eficiencia de los paneles fotovoltaicos continue mejorando en los próximos años, haciendo más rentable las prácticas agrovoltaicas. Así mismo, se van a optimizar las prácticas de cultivo para aprovechar al máximo estas instalaciones.

Por otro lado, se están desarrollando soluciones de software capaces de orientar los paneles para optimizar la producción energética al mismo tiempo que se considera las necesidades de insolación del cultivo. Dichas soluciones se van a adaptar para tener en cuenta la incidencia

[132] Sekiyama, T.; Nagashima, (2019) A. Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, A Typical Shade-Intolerant Crop. Environments, 6, 65

[133] Solar Plaza

de la luz de la luna sobre los paneles para reducir el riesgo de colisión de aves migratorias que pueden llegar a confundir la reflectancia de los paneles con zonas acuáticas.[134]

Resultados esperables

Al destinar una misma zona para la producción agrícola y fotovoltaica, se aumenta notablemente la productividad del suelo, y se reduce la cantidad de suelo transformado, disminuyendo así los impactos sobre los ecosistemas. Con la tecnología actual, se ha demostrado que algunos cultivos pueden aumentar su productividad, por lo que se beneficiaría de la protección atmosférica que ofrecen los paneles solares, al mismo tiempo que generarían energía para ser autosuficiente y generar un ingreso extra en la misma parcela donde anteriormente solo se cultivaba.

Costes de instalación

Los costes de estas instalaciones correrán a cargo de la empresa energética que vaya a explotar la instalación, llegando el agricultor a un acuerdo económico para la cesión de sus tierras para esta actividad. Los costes asociados a este tipo de instalación no se alejan de los derivados de una explotación fotovoltaica según[135].

Hay que tener en cuenta que factores como la localización de la explotación, el tipo de cultivo al que se acopla, el grado de transparencia necesario en las placas y la altura de la instalación van a jugar un papel importante en el coste de dicha instalación, pudiendo esta incrementar en unos 220-250€/kW en el caso de los paneles, y entre 75-200€/kW por los costes asociados a los soportes. A modo de ejemplo, una instalación en Alemania con paneles orientables a una altura de 6m tuvo un coste final de 850€/kW[136].

Costes de operación

Los costes de manteamiento varían en función de las dimensiones y complejidad de la instalación. Las labores típicas de mantenimiento son: inspecciones regulares, limpieza de los paneles, mantenimiento de las redes de distribución de energía.

Aceptación social

A priori cabe esperar que estas prácticas tengan una alta aceptación social, ya que favorecen la transición energética al mismo tiempo que no ocupan y transforman más suelos al aprovechar parcelas ya destinadas al cultivo. De esta forma, al adoptar prácticas agrovoltaicas, se van a reducir el número de hectáreas necesarias para favorecer la transición a energías renovables, teniendo un efecto paisajístico menor al que tendría la implementación de estas energías en zonas naturales.

Destinatarios

- Agricultores
- Empresas de producción y distribución de energía
- Cooperativas de energías renovables

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Variabilidad pluvial y/o hidrológica

[134] Green Concept Management. Desarrollos AgriVitiVoltaicos

[135] A. Agostini, M. Colauzzi, S. Amaducci (2021); Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment, Applied Energy, Volume 281

[136] Emiliano Bellini. (2021) Cost comparison between agrivoltaics and ground-mounted PV

- Fuertes precipitaciones
- Erosión del suelo
- Insolación.
- Fenómenos meteorológicos extremos

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Las prácticas agrovoltaicas disminuyen el riesgo asociado al cultivo tradicional, ya que no solo proporciona protección al cultivo, sino que al diversificar la producción disminuye el riesgo económico de dicha actividad. Son por tanto un mecanismo de mitigación de los efectos del cambio climático tales como el aumento de eventos climáticos/meteorológicos extremos, lluvias cada vez más intensas o periodos de sequía cada vez más prolongados. Por otro lado, esta práctica contribuye de forma positiva en 14 de los 17 objetivos de desarrollo sostenible de Naciones Unidas (Agostini et al, 2021[137], Dinesh, H and Pearce, J.M. 2016[138]).

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Francia	SunAgri	2018	Instalación combinada con la producción de uva, han conseguido una reducción del 20% en el consumo de agua y han mejorado las cualidades organolépticas del cultivo, así como minimizar los efectos de las olas de calor.
España	Green Concept Management	2020	17 proyectos en funcionamiento y más de 160 MWp en proyecto.
Alemania	Krug's Spargel	2013	Con una capacidad de 5000 kWp en combinación con una plantación de Pana ginseng 139

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación
- Empresas energéticas
- Asociación Agraria Jóvenes Agricultores de Madrid (ASAJA)

[137] Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment.

[138] Harshavardhan Dinesh, Joshua M. Pearce, The potential of agrivoltaic systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 54, 2016, Pages 299-308, ISSN 1364-0321,

[139] Stephan Schindele, Maximilian Trommsdorff, Albert Schlaak, Tabea Obergfell, Georg Bopp, Christian Reise, Christian Braun, Axel Weselek, Andrea Bauerle, Petra Högy, Adolf Goetzberger, Eicke Weber, Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications, Applied Energy, Volume 265, 2020, 114737, ISSN 0306-2619,

4.3.4.2 *Innovación en variedades de cultivos europeos*

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agricultura, ganadería y alimentación
- Agua

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Crear innovaciones en la selección de variedades de cultivos europeos para mejorar la eficiencia y el rendimiento de dichas variedades en diferentes condiciones de producción y variaciones en las presiones bióticas y abióticas.

Descripción básica

Una herramienta de adaptación importante en el sector agrícola es la mejora de las variedades de cultivo europeo para que tengan una mayor resiliencia climática bajo unas condiciones sostenibles de cultivo.

Una de las iniciativas más interesantes sobre innovación en el conocimiento que tenemos sobre las variedades de cultivos europeos y su adaptación al cambio climático, es el proyecto INVITE[140]. En este proyecto se estudian diez especies seleccionadas empleadas principalmente para la producción de alimentos y piensos, que constituyen una importante actividad de mejora genética en la Unión Europea. Las diez especies seleccionadas son la manzana, el pasto forrajero, el girasol, la soja, el trigo, el maíz, la patata, el tomate, la colza y la alfalfa. Estas especies fueron seleccionadas porque representan algunas de las principales fuentes de propagación y alimentación, que al mismo tiempo tienen una mayor importancia a nivel europeo.



Figura 32. Especies seleccionadas en el proyecto Invite y que tienen mayor importancia en la Unión Europea. Fuente: Invite.

El objetivo final es contribuir a la valorización y promoción de variedades más adaptadas a prácticas de gestión sostenible y más resilientes al cambio climático.

[140] Innovation in plant variety testing in Europe (INVITE)

Para alcanzar su objetivo general, INVITE implementará una serie de herramientas y estrategias. En primer lugar, identifica bioindicadores asociados con la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia del uso de los recursos vegetales y desarrolla nuevas herramientas de fenotipado y genotipado para medirlos. En segundo lugar, utiliza modelos y herramientas estadísticas que permitan predecir el rendimiento de las variedades en un rango de entornos y prácticas de manejo de cultivos, al tiempo que se considera el retorno económico para los agricultores. Finalmente, propone innovaciones organizativas para mejorar la gestión de redes de pruebas de variedades y colecciones de referencia.

Los resultados del proyecto estarán disponibles para todas las partes interesadas relevantes gracias a una política de difusión activa y abierta.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Mayor adaptación de los cultivos al cambio climático. • Desarrollo de capacidades para identificar bioindicadores. • Identificación de variedades mejor adaptadas en 10 especies de alimentación básica en Europa.	• No está centrado en cultivos ni climas típicos del interior de la península ibérica. • Las variedades seleccionadas solo representan una parte de nuestra agricultura.

Potenciales barreras para su implementación

Al tratarse de un proyecto que aún se está desarrollando, falta por ver cuáles van a ser los resultados finales. Aunque promete resultados interesantes, también hay que tener en cuenta las barreras de comunicación y divulgación inherentes en este tipo de proyectos, los cuales se pretenden prevenir con un grupo de trabajo especial para hacer difusión y formación a los agentes interesados de cada territorio.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 6

El proyecto empezó a mediados del 2019, y aún es pronto para poder analizar los resultados. La fecha prevista de finalización del proyecto es el 30 de junio del 2024.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Debido a la naturaleza del cambio climático y de sus efectos cambiantes, se espera que las adaptaciones de las semillas sean capaces de hacer frente no sólo a una condición climática cómo puede ser la escasez de agua, si no que estén adaptadas a fenómenos climáticos cambiantes y que sean resistentes a varios factores climáticos para conseguir una mayor resiliencia de los cultivos[141].

Resultados esperables

La introducción de nuevas variedades con alta resiliencia a estreses bióticos y abióticos, alta adaptación a prácticas de manejo sostenible y alta eficiencia en el uso de recursos son esenciales para la adaptación al cambio climático del sector agrícola. Es necesario por tanto la introducción progresiva de estrategias como las propuestas en el proyecto INVITE, donde se pretende mejorar los protocolos de prueba de variedades para la caracterización de estas y las pruebas de rendimiento para mejorar la velocidad, precisión y eficiencia de las citadas pruebas. INVITE también proporcionará información a las partes interesadas sobre el rendimiento de las variedades en diversas condiciones de producción comparables para las principales especies de cultivos que exhiben una actividad de reproducción significativa en la UE.

[141] Cacho, O.J., Moss, J., Thornton, P.K. et al. The value of climate-resilient seeds for smallholder adaptation in sub-Saharan Africa. Climatic Change 162, 1213–1229 (2020).

Costes de instalación

En este caso, y debido a la naturaleza de la solución, no hay un coste asociado a la implementación de esta adaptación por parte de los productores. Posibles patentes futuras pueden repercutir sobre el precio de la semilla, pasando entonces a ser un coste directo para el productor.

A efectos de la investigación que se está desarrollando en el marco del proyecto INVITE, el presupuesto del proyecto es de 8.160.752 € de los cuales la Unión Europea ha financiado 7.999.988,25 € repartidos entre 28 instituciones de 13 países europeos.

Costes de operación

Este tipo de adaptación no implica un coste de operación asociado, a no ser que las semillas adaptadas vayan acompañadas de unas prácticas de cultivo específicas, en cuyo caso se tendrá que estudiar caso por caso las implicaciones a nivel de laboreo, producción y cosecha entre otros.

Aceptación social

Se espera una aceptación social alta de estas adaptaciones, ya que van a contribuir a mejorar las variedades de cultivo en Europa al mismo tiempo que inciden sobre prácticas de cultivo sostenible y usos más eficientes de recursos.

Destinatarios

- Agricultores y productores

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas
- Cambios en los patrones y tipos de precipitación (lluvia, granizo, nieve)
- Variabilidad pluvial y/o hidrológica

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En un escenario futuro donde los períodos de sequía, combinados con fenómenos meteorológicos extremos y escasez de recursos hídricos van a ser un factor muy determinante para la producción agrícola[142], es de vital importancia contar con proyectos como INVITE que busquen soluciones para garantizar que la producción de alimentos no se vea afectada.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
España	CSIC	2017-2019	Estudio donde se compara la adaptación al cambio climático mediante la selección de variedades frutales adaptadas a inviernos menos fríos[143]

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

[142] El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. International Food Policy Research Institute.

[143] Iñaki Hormaza Urroz. Adaptación al cambio climático mediante la selección de variedades frutales adaptadas a inviernos menos fríos.

- Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación
- Empresas de alimentación
- Asociaciones de agricultores
- Programa *Horizon 2020* de la Unión Europea

4.3.4.3 Adaptación de zonas en riesgo de desertificación

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agricultura, ganadería y alimentación
- Biodiversidad y patrimonio natural
- Agua

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Proporcionar evidencias científicas de la idoneidad de diferentes medidas agroforestales de adaptación para recuperar y mejorar la calidad de los servicios ecosistémicos en áreas degradadas del Mediterráneo.

Descripción básica

Los servicios ecosistémicos son recursos (bienes y servicios) o procesos de los ecosistemas naturales que benefician a los seres humanos. Los suelos y los sistemas agroforestales nos proporcionan una gran variedad de servicios ecosistémicos tales como; agua potable, protección contra inundaciones, fijación de carbono, riqueza de biodiversidad y fuentes de alimentación, por citar algunas. Es, por lo tanto, muy importante mantener la calidad de estos servicios ecosistémicos, desarrollando medidas agroforestales de adaptación que no sólo mejoren estos servicios ecosistémicos, si no también recuperando sus funciones en los casos en que se haya degradado el ecosistema y que al mismo tiempo se adapten al cambio climático.

El objetivo principal de *Life Desert-Adapt* es demostrar estrategias innovadoras de adaptación al cambio climático para mejorar la calidad del suelo, su conservación, así como de la vegetación tanto en fincas privadas como públicas situadas en zonas del mediterráneo bajo riesgo de desertificación. Los dos objetivos específicos del proyecto son:

- Demostrar la efectividad de tecnologías de adaptación innovadoras, para mejorar el desarrollo socioeconómico y la calidad ambiental en 3 regiones de la Unión Europea (España, Portugal e Italia) ya afectadas por el cambio climático, aplicando los Modelos de Adaptación a la Desertificación (MAD) adaptados a las condiciones y oportunidades específicas del sitio.
- Promover y replicar los marcos de MAD desarrollados entre las partes interesadas, particularmente entre agricultores locales que buscan oportunidades socioeconómicas de uso del suelo resiliente y agentes políticos que ayuden a la replicación de las medidas más allá del marco del proyecto.

Los MAD están específicamente diseñados para contrarrestar la aridificación y la posterior desertificación de la tierra. Se adopta un enfoque ecosistémico integral para garantizar que los objetivos de adaptación al cambio climático se combinen con funciones mejoradas del ecosistema (por ejemplo, captura de carbono, retención de agua, biodiversidad) y un mejor desarrollo socioeconómico.

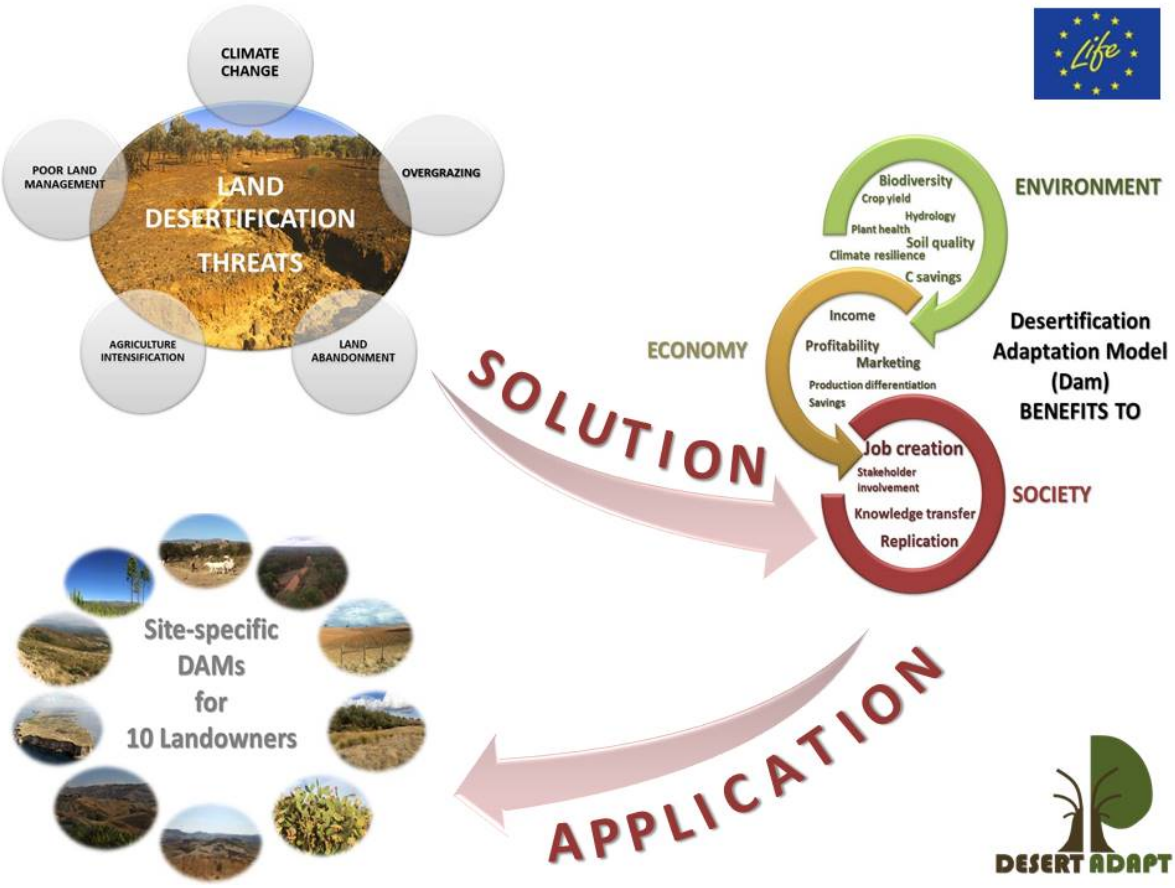


Figura 33. Modelo de trabajo del proyecto LIFE Desert Adapt. Fuente: ***Life Desert-Adapt***.

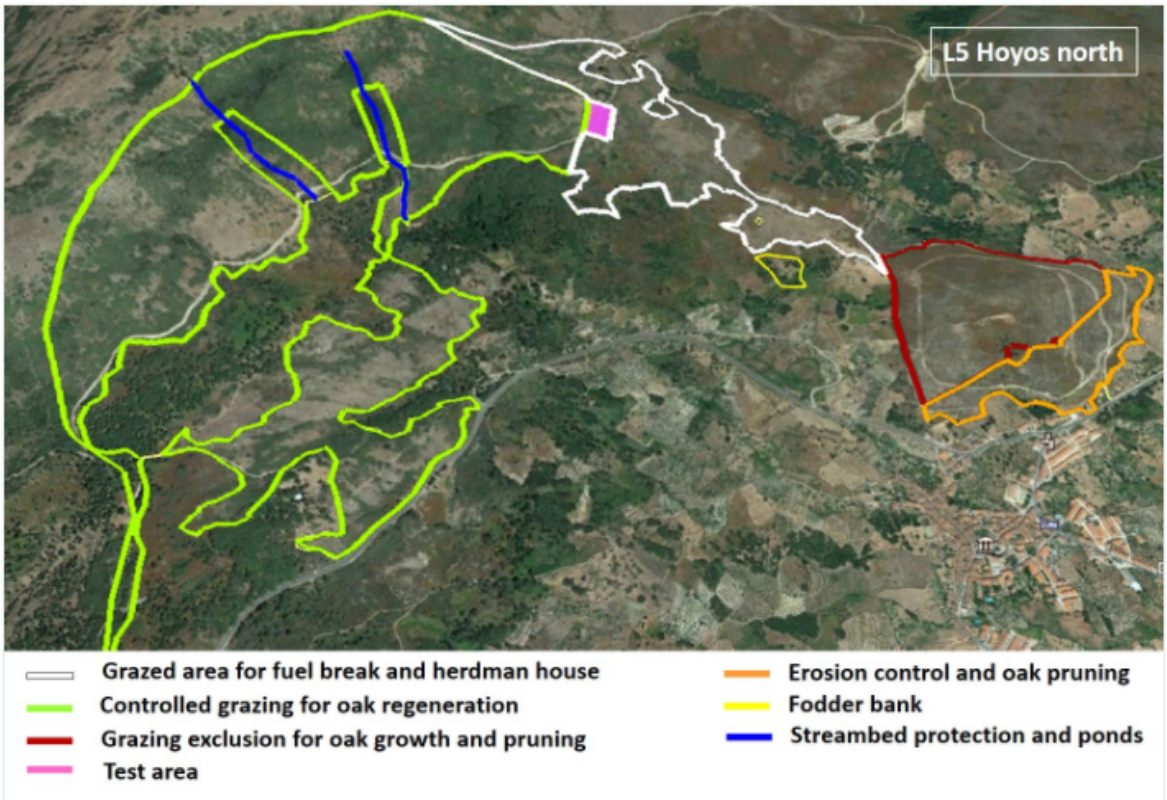


Figura 34. Caso práctico: medidas de adaptación en el Ayuntamiento de Hoyos. Fuente: *Life Desert-Adapt*

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Aplicable en toda la zona árida del mediterráneo. • Vocación de promover y replicar los resultados del proyecto a nivel nacional.	• Proyecto en ejecución, faltan los resultados finales y demostrar la aplicabilidad de estos.

Potenciales barreras para su implementación

La principal barrera a la hora de implementar soluciones basadas en la naturaleza es la unificación de criterios y la divulgación de estos. Al tratarse de ecosistemas naturales, el reto recae principalmente en la dificultad de crear "soluciones generales", por lo que lo más eficiente es generar guías de buenas prácticas y casos de estudio como el que proponen en el proyecto *Life Desert-Adapt* y que posteriormente pueden ser adaptados y aplicados a otras zonas de características similares.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 7

A lo largo del proyecto, el cual se extiende desde septiembre del 2017 hasta septiembre del 2022, se han ido cumpliendo los objetivos que se plantearon al inicio de este. Cuando finalice el proyecto, se podrá valorar mejor el nivel de innovación y los resultados logrados.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que en los próximos años se unifiquen los criterios de gestión agroforestal que se han propuesto en diferentes proyectos de conservación para que las administraciones públicas puedas hacer uso de dicho conocimiento en sus políticas agrarias y de medio ambiente.

Para evaluar la efectividad de proyectos en cuanto a la obtención de los resultados esperados, se establecen grupos de indicadores. Estos son analizados al inicio del proyecto para evaluar la línea de base, es decir, el estado de dichos indicadores en las condiciones previas a la gestión de las fincas incluidas en el proyecto, y al final del proyecto, para verificar su estado después de la implementación de la gestión propuesta.

Los indicadores abarcan varios aspectos, que incluyen desde indicadores de calidad ambiental hasta indicadores sociales y económicos. Esto refleja la naturaleza del proyecto, que puede tener como objetivo el mejorar los servicios ecosistémicos en las áreas de estudio eligiendo al mismo tiempo opciones que sean económicamente sostenibles, para estimular a los socios y propietarios a continuar la implementación después del proyecto y a los nuevos propietarios para que se unan.

Resultados esperables

Se espera que el proyecto beneficie en particular a los agricultores locales, con oportunidades de ingresos a partir de nuevas combinaciones de productos y servicios ecosistémicos y mediante promociones, ventas y marketing organizados de forma cooperativa. Algunos de los resultados que se muestran del proyecto incluyen al menos 8 fuentes de ingresos viables seleccionadas derivadas de; un aumento de ingresos de 100 euros por hectárea; un aumento de 0,1 empleos a tiempo completo equivalentes por hectárea y una mejora general de la tasa interna de retorno de al menos 6%.

Además, la biodiversidad local se beneficiará, a través de una mayor complejidad estructural de la vegetación, una mayor atracción de polinizadores y menores impactos en el suelo y el

medio ambiente. Otros resultados incluyen la capacidad desarrollada para preparar a los agricultores para varias certificaciones.

Costes de instalación

Al tratarse de un proyecto de investigación y desarrollo, no se han implementado soluciones que tengan un coste específico de instalación. El proyecto, que ha contado con un presupuesto de 4.063.805 € de los cuales 2.433.020 € han estado financiados por la Unión Europea, se ha centrado en demostrar la viabilidad de ciertas prácticas agroforestales.

Costes de operación

En este caso, no se detallan gastos derivados de la operación, los cuales dependerán de las prácticas desarrolladas y que no tienen por qué ser distintos de los costes asociados a una gestión agroforestal tradicional.

Aceptación social

Por la naturaleza del proyecto, que busca adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático, va a tener una alta aceptación por parte de la sociedad, que ya reconoce estos como los principales retos a abordar en el futuro inmediato.

Destinatarios

- Agricultores y productores

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Degradación del suelo
- Cambio de temperaturas
- Variabilidad pluvial y/o hidrológica

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Uno de los principales efectos del cambio climático, combinado con una mala gestión del suelo, es la desertificación. Este proyecto pretende encontrar mecanismos para combatir este problema, ayudándonos a gestionar los suelos de forma más sostenible y haciéndolos más resilientes al cambio climático.

La adaptación al cambio climático es de particular importancia para la región mediterránea que está experimentando efectos cada vez más negativos, como la sequía y temperaturas extremas, más que en otras áreas de Europa. El proyecto se centra en las medidas de adaptación destinadas a revertir las tendencias actuales de la desertificación y la creación de comunidades locales más resilientes al clima. Además, también abordará la prioridad de la política de mitigación, mediante la restauración de la cubierta vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo, lo que resulta en la fijación de carbono de la atmósfera.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Hoyos (España)	Ayuntamiento Hoyos	2017-presente	Zona piloto de 182 ha dedicadas al cultivo y a la producción agraria donde se han aplicado medidas de: gestión regenerativa del terreno mejorando la producción de nueces, conservación y mejora de los servicios ecosistémicos como la gestión para prevenir incendios o el control de la

Lugar	Responsable	Año	Descripción
			erosión entre otros, así como la implementación de servicios sociales.[144]
Valverde del Fresno (España)	Ayuntamiento de Valverde del Fresno	2017-presente	Zona piloto de 160 ha forestales y de producción agrícola donde se han aplicado medidas de gestión económica del territorio mejorando la producción de pistacho y castaña, la recolección de la jara para su comercialización; acciones para mejorar los servicios ecosistémicos tales como el control de la erosión, la protección de la fauna salvaje, la construcción de refugios para insectos, la gestión de los residuos y la reforestación, todo ello implementando servicios sociales.[145]
Malpartida de Plasencia (España)	Viveros forestales la Dehesa SL	2017-presente	Zona piloto de 100 ha de conreo donde se han aplicado medidas de agricultura regenerativa para mejorar la producción y conservar los servicios ecosistémicos y la biodiversidad. Entre otros, se ha fomentado la presencia de abejas, se han mejorado las medidas de pastoreo y se han tomado medidas de adaptación al cambio climático.[146]

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación
- Asociación Agraria Jóvenes Agricultores de Madrid (ASAJA)
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico
- Servicio de protección de la naturaleza (SEPRONA)
- Programa LIFE de la Unión Europea

[144] Desert Adapt. *Preparating desertification areas for increased climate change*.

[145] Caso de estudio del proyecto Desert Adapt en Valverde del Fresno.

[146] Caso de estudio del proyecto Desert Adapt en los viveros forestales de La Dehesa S.L.

4.3.4.4 Agricultura inteligente

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agricultura, ganadería y alimentación
- Agua

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

La agricultura inteligente consiste en la utilización de las nuevas tecnologías en el ámbito de la agricultura y la ganadería para aumentar la cantidad y la calidad de la producción, aprovechando al máximo los recursos y minimizando el impacto medioambiental. La implantación de la tecnología en la agricultura o la ganadería permitirá, además, reforzar la seguridad alimentaria en el mundo.

Gracias a estas nuevas tecnologías, un terreno de cultivo puede fraccionarse en tantas parcelas como diferencias internas tenga dicho terreno: variaciones en la composición del sustrato, existencia de depresiones, propensión al estancamiento de agua, presencia de depredadores o grado de porosidad, entre otras características, y aplicar sobre cada parcela un tratamiento personalizado para sacarle el máximo rendimiento.

Descripción básica

La agricultura inteligente basada en tecnologías de Internet de las cosas (*IoT*) permite a los agricultores recopilar datos en tiempo real relacionados con los procesos de riego y protección fitosanitaria de las plantas, con el objetivo de aumentar la producción, mejorar la calidad del producto y predecir enfermedades, al tiempo que optimiza los recursos y los procesos agrícolas.

Los resultados de una aplicación piloto[147] demuestran una reducción potencial de hasta un 22% en las necesidades totales de riego e importantes oportunidades de optimización en la eficiencia del uso de plaguicidas. El sistema ofrece oportunidades para la focalización de la innovación y las opciones de adaptación al cambio climático y podría ayudar a los agricultores a reducir su huella ecológica.

Entre las tecnologías que se están usando en las granjas inteligentes cabe destacar:

- Drones capaces de identificar plantas con déficit de nutrición o zonas del cultivo con escasez de agua.
- Sistemas de internet de las cosas para automatizar sistemas cómo el riego o la aplicación de nutrientes en función de las necesidades.
- Sensores inteligentes que miden a tiempo real tanto las condiciones ambientales como las del cultivo.
- Tecnología de *big data* para procesar datos masivos obtenidos con los sistemas anteriores que permite una mejor toma de decisiones.
- Tecnología *blockchain* para trazar todo el sistema de producción ahorrando costes de mercado si se tiene que, por ejemplo, retirar un producto.
- Inteligencia artificial para interpretar de forma automática las imágenes obtenidas por dron y los datos que se generan con los sensores.

[147] Adamides G, Kalatzis N, Stylianou A, Marianos N, Chatzipapadopoulos F, Giannakopoulou M, Papadavid G, Vassiliou V, Neocleous D. Smart Farming Techniques for Climate Change Adaptation in Cyprus. Atmosphere. 2020; 11(6):557.

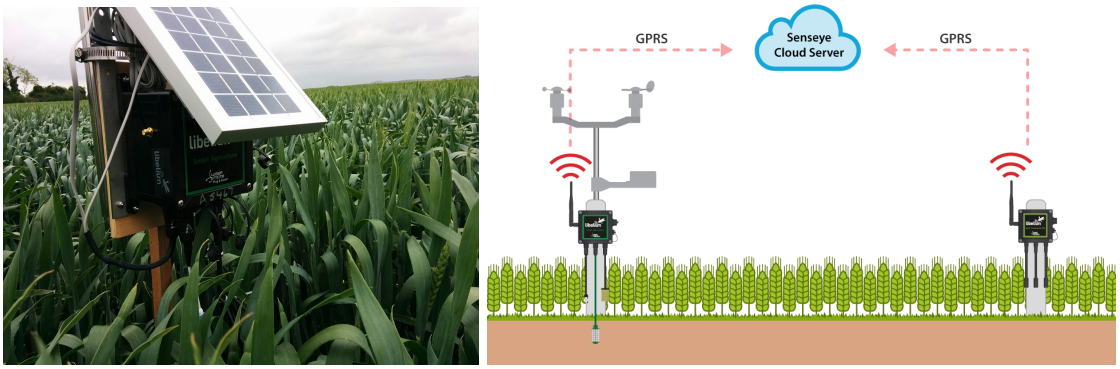


Figura 35. Proyecto de agricultura inteligente en Inglaterra. Fuente: Libelium.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Incremento de la producción • Ahorro de agua • Incremento de la calidad • Reducción de costes en tratamientos y gestión • Detección de plagas • Aumento de la sostenibilidad de la producción	• Inversión inicial elevada • Alto grado de especialización • Limitaciones para los pequeños agricultores

Potenciales barreras para su implementación

El principal reto para implementar estas tecnologías es el aspecto técnico. Se requiere de una formación avanzada para poder implementar un sistema complejo como el que se propone. Por otro lado, requiere de una inversión económica considerable si se quiere aplicar a gran escala.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 7

Se usan tecnologías muy avanzadas que han sido desarrolladas y ampliamente testadas en otros ámbitos, por lo que la innovación en este caso más que la tecnología es el uso que se le da.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que los costes de estas tecnologías se reduzcan en los próximos años, llegando a ser asumibles no solo para grandes productores sino también para los medianos y pequeños agricultores.

En este sentido, *Tran*[148] demuestra en su estudio del 2017 que se puede instalar un sistema de sensores y de comunicaciones para medir temperatura y humedad ambientales, luminosidad y humedad del suelo por algo menos de 100€.

Resultados esperables

Con la implementación de tecnologías de agricultura inteligente se consigue mejorar la cantidad y la calidad del cultivo al mismo tiempo que se hace un mejor uso de los recursos y se reduce la cantidad de fertilizantes y pesticidas usados, por lo que se consigue una producción más sostenible y eficiente.

[148] Tran, Minh Quang & Phan, Trong & Takahashi, Akihiko & Thanh, Tam & Duy, Son & Thanh, Mong & Hong, Chau. (2017). A Cost-effective Smart Farming System with Knowledge Base. 309-316.

Costes de instalación

Los costes de instalación van a variar en función de los sensores y equipos a instalar, del sistema de recogida de datos y de las automatizaciones deseadas.

La variabilidad de los costes de instalación es grande, por lo que se requiere de un estudio personalizado para cada caso. A modo de ejemplo, la empresa estadounidense *Lets Nurture*[149] ofrece servicios para desarrollar la interfaz de comunicaciones de una granja inteligente por un precio que ronda los 10.000€, a los que hay que añadir la inversión en sensores y equipos de comunicación. Por otro lado, como se ha comentado anteriormente, Tran y sus compañeros han demostrado la viabilidad de incorporar un pequeño kit de sensores y comunicaciones por algo menos de 100€ para pequeños agricultores.

Costes de operación

Una vez instalados los sensores y el sistema de recogida y tratamiento de datos, los costes de operación son los asociados al mantenimiento de los equipos y de la red de comunicaciones y suministro de energía.

Aceptación social

Se espera una alta aceptación social al tratarse de tecnologías muy extendidas en otros sectores y que gozan de gran popularidad. No obstante, los agricultores y productores convencionales pueden tener reticencia a incorporar estas nuevas tecnologías, de modo que habrá que hacer un trabajo de divulgación y formación para evitar que el miedo al cambio sea una barrera.

Destinatarios

- *Agricultores y productores*

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas.
- Estrés hídrico
- Cambios en los patrones y tipos de precipitación (lluvia, granizo, nieve)

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En un escenario de inestabilidad climática y de aumento de la población, se hace primordial la adaptación de la agricultura a estos cambios. Esta tecnología permite reducir el uso de recursos haciendo las producciones mucho más sostenibles y resilientes.

Se aborda la adaptación al cambio climático de cultivos Mediterráneos desde una perspectiva agronómica digital integrada y con el objetivo de hacer viable la agricultura inteligente para los pequeños agricultores.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Almería	Universidad de Almería	2020	Caso de estudio dentro del proyecto Internet of Food & Farms[150]. Aplicado a la producción de tomates en invernaderos.

[149] Let's Nurture. *"How much would it costs to develop an IoT based proof of concept (PoC) for Smart Farming System?"*

[150] Internet of Food & Farm (IOF). "Chain-integrated greenhouse production".

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Córdoba	Sensowave	2020	Caso de estudio dentro del proyecto Internet of Food & Farms[151]. Aplicado en la toma de decisiones en la producción de vacuno.
España	UAB / SNiBA	2018	Proyecto FEDER que pretende hacer compatible la intensificación de la ganadería con un incremento de la competitividad de forma sostenible y respetuosa con el bienestar animal.[152]
Cerdeña	Consulmedia / Agribio	Actualidad	Proyecto de Agricultura 4.0. La instalación está diseñada para medir los aspectos esenciales de una plantación ecológica limitando el impacto medioambiental mediante el uso responsable de la energía y de los recursos naturales, la mejora de la fertilidad del suelo y el mantenimiento de la calidad del agua.[153]
Andalucía	Instituto de investigación y formación agraria y pesquera	2020	Documento de síntesis de diferentes tecnologías y sensores para medir temperatura, humedad, radiación solar, CO_2, viento y lluvia. Aplicables en cultivos de invernadero.[154]

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación
- Empresas de alimentación
- Asociación Agraria Jóvenes Agricultores de Madrid (ASAJA)

[151] Internet of Food & Farm (IOF). "Decision-making optimization in beef supply chain".

[152] SNiBA (2019) SNiBA-UAB lidera el proyecto SMARTFARM.

[153] Libelium (2021) Agricultura de precisión y riesgo automático en cultivos orgánicos con tecnología IoT de Libelium.

[154] Servifapa (2020) Uso de Sensores de Clima en Cultivos bajo Invernadero. Junta de Andalucía. Unión Europea.

4.3.4.5 Medidas de adaptación de la agricultura al cambio climático

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Agricultura, ganadería y alimentación
- Agua

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Dentro del marco del proyecto LIFE AgriAdapt, la solución que se ofrece para adaptar la agricultura al cambio climático es la creación de una herramienta web que recopila información relevante de medidas de adaptación para diferentes tipos de agricultura en función de su clima.

Descripción básica

Los agricultores y ganaderos europeos tienen y tendrán que adaptarse a un clima cambiante, a través de medidas que van más allá de simples ajustes a las prácticas *ad hoc*. Con el fin de limitar la vulnerabilidad de sus explotaciones a riesgos climáticos cada vez más variables, la adaptación debe ser diseñada y llevada a cabo de manera sostenible.

Para ello, se hace necesaria una base de datos, que se ponga a disposición de los productores, con información relevante sobre medidas de adaptación a los riesgos derivados del cambio climático.

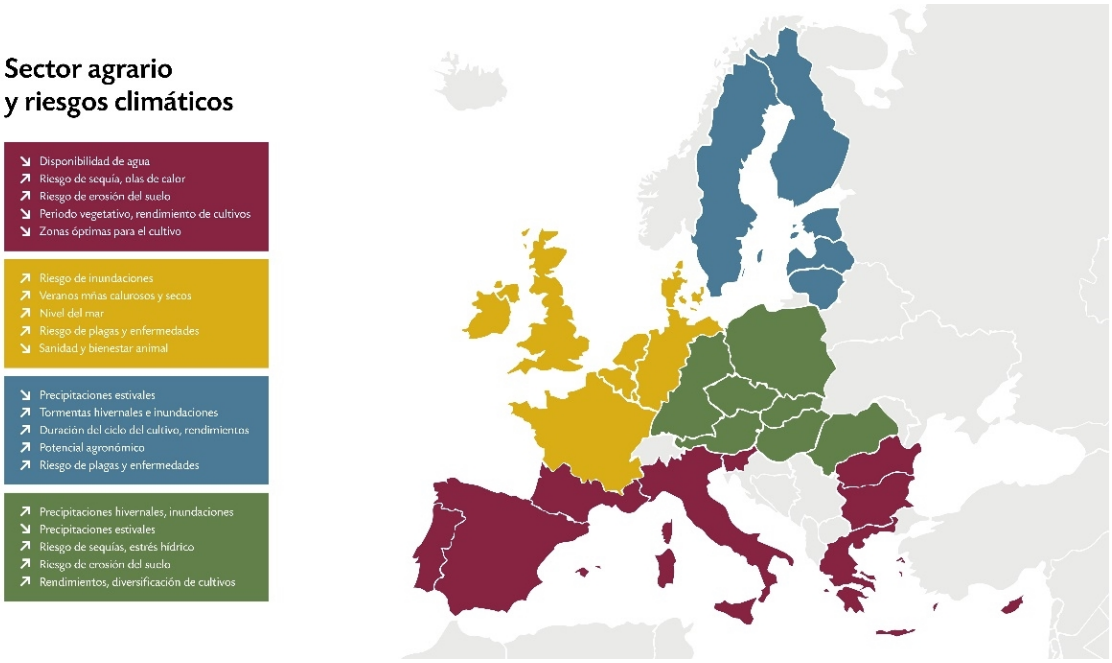


Figura 36. Mapa de los riesgos climáticos asociados a los distintos sectores agrarios europeos según su zona climática. Fuente: elaboración propia a partir de Life AgriAdapt.

En este sentido, se pone como ejemplo el proyecto LIFE AgriAdapt, cuyo objetivo es doble: evaluar la vulnerabilidad de los principales productos agrícolas europeos al cambio climático, pero también proponer planes de adaptación sostenibles que permitan que estos sistemas se vuelvan más resilientes.

Como resultado, se generará una herramienta web de adaptación que tiene como objetivo destacar los principales resultados del seguimiento de más de 120 granjas piloto en Alemania, Francia, España y Estonia, compartiéndolas con el mayor número de usuarios en Europa.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Accesible desde su web. • Aplicable a todo tipo de cultivos y climas.	• Gran dificultad para transformar las recomendaciones agrarias en obligaciones. • Reticencia a los cambios por parte de los agricultores tradicionales.

Potenciales barreras para su implementación

La principal barrera que tienen este tipo de proyectos para su implementación es la difusión que se haga de los mismos. En este caso, hay muchas medidas de adaptación al cambio climática descritas en la herramienta web que si no se difunden debidamente no van a servir para el propósito que se crearon.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 9

El proyecto terminó en 2020, por lo que los recursos ya están disponibles de forma online.[155]

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que se lleven a cabo más proyectos de este estilo con el objetivo de ampliar el número de casos de estudio para poder aportar soluciones a otros tipos de cultivo que no se hayan estudiado aún.

Por otro lado, sería deseable que se avanzara en el proceso de legislar ciertas prácticas agrarias que se conoce que favorecen la adaptación y la mitigación al cambio climático a la vez que son más sostenibles. En este sentido, los responsables del proyecto *LIFE AgriAdapt* se reunieron durante el proyecto con la Comisión Europea, el Centro Común de Investigación y el Parlamento Europeo. También trabajaron con decisores políticos a escala nacional y regional. Asimismo, también hubo intercambios con entidades como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), y el Programa Europeo de Observación de la Tierra "Copernicus"[156]. De esta forma, se pretende incidir sobre la Política Agraria Común, que desde el 2021 incluye medidas de adaptación al cambio climático.

Resultados esperables

Se espera que las medidas de adaptación propuestas permitan a agricultores y ganaderos adaptarse al cambio climático, haciendo que su actividad sea menos vulnerable y más sostenible. Se proponen medidas de adaptación para cultivos herbáceos, cultivos permanentes y para ganadería. Entre muchas otras, estas medidas incluyen; rotaciones de cultivos más diversas, incremento de la diversificación del cultivo, márgenes multifuncionales, uso de variedades locales y mejor adaptadas, adaptación de las fechas de siembra, poda y cosecha, uso de cubiertas vegetales, diseño en línea clave, etc. Todas estas medidas propuestas, y muchas más, se pueden consultar en el informe Layman del proyecto.

Costes de instalación

Al tratarse de un proyecto de investigación y desarrollo, no se han implementado soluciones que tengan un coste específico de instalación. El proyecto, que ha contado con un presupuesto de 2.161.437 € de los cuales 1.295.347 € han estado financiados por la Unión Europea, se ha centrado en aportar soluciones aplicando buenas prácticas en los sistemas agrícolas y ganaderos.

[155] AgriAdapt (2020) Medidas de adaptación sostenible.

[156] AgriAdapt (2020) Informe Layman.

Costes de operación

En este caso, no se detallan gastos derivados de la operación, los cuales dependerán de las prácticas desarrolladas y que no tienen por qué ser distintos de los costes asociados a una gestión agroforestal tradicional.

Aceptación social

Las medidas para adaptarse al cambio climático tienen generalmente una alta aceptación social. No obstante, habrá que prestar especial atención a los grupos de agricultores y ganaderos que puedan tener un rechazo a las medidas propuestas por miedo al cambio. En este caso, habrá que trabajar para capacitar a estos colectivos y formarlos para que vean las ventajas que suponen las medidas propuestas.

Destinatarios

- Agricultores y productores
- Ganaderos

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas
- Degradación del suelo
- Estrés térmico
- Incendios forestales
- Erosión del suelo
- Estrés hídrico
- Olas de calor y frio
- Cambios en los patrones y tipos de precipitación
- Sequías

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En la región mediterránea árida y semiárida, se espera una reducción aproximada del 20% en la disponibilidad de agua para mediados del siglo XXI, medidas cómo las que se proponen en este proyecto, ayudaran a adaptarse y a combatir estos escenarios de escasez de agua, desertificación y pérdida de productividad de los suelos.

Estas medidas aportan soluciones para adaptar el cultivo y la producción ganadera a problemas derivados del cambio climático como pueden ser la escasez de agua, la desertificación, las sequías y la pérdida de biodiversidad, entre otros.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
España	AgriAdapt	2016-2020	Se han recopilado datos de 32 granjas españolas durante el proyecto. Se han utilizado cultivos convencionales, orgánicos, granjas lecheras, ganaderías, dehesas, viñas y horticultura.[157] De esta monitorización se han generado propuestas de gestión para la adaptación de este tipo de cultivos al cambio climático.
Francia	AgriAdapt	2016-2020	Se han recopilado datos de 15 granjas del sur de Francia durante el proyecto. Se han utilizado cultivos convencionales, orgánicos, granjas lecheras y ganaderías.

[157] Explotaciones agrarias del proyecto AgriAdapt

Lugar	Responsable	Año	Descripción
			De esta monitorización se han generado propuestas de gestión para la adaptación de este tipo de cultivos al cambio climático.
Alemania	AgriAdapt	2016-2020	Se han recopilado datos de 19 granjas del sud de Alemania durante el proyecto. Se han utilizado cultivos herbáceos, viñedos y frutales y granjas lecheras y de cerdos. De esta monitorización se han generado propuestas de gestión para la adaptación de este tipo de cultivos al cambio climático.
Estonia	AgriAdapt	2016-2020	Se han recopilado datos de 28 granjas de Estonia durante el proyecto. Se han utilizado cultivos herbáceos, viñedos, frutales y explotaciones ganaderas de vacuno tanto para carne como para leche y de ovejas. De esta monitorización se han generado propuestas de gestión para la adaptación de este tipo de cultivos al cambio climático.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación
- Empresas de alimentación
- Asociaciones de agricultores
- Programa LIFE de la Unión Europea

4.3.5 Urbanismo y edificación

4.3.5.1 Pavimentos permeables en la renovación de muelles en zonas portuarias

(Autores: Joan Sabat e Irene Rafols)

Áreas o sectores donde aplica:

- Urbanismo y edificación
- Gestión del agua de lluvia

Tipología de la solución: Solución tecnológica y de gobernanza / estratégica de gestión

Solución / Tecnología

Proyecto de urbanización de los muelles de Ámsterdam con el objetivo de aumentar la permeabilidad del suelo e incrementar la vegetación, aprovechando la necesidad de reparar los diques existentes.

Descripción básica

La necesaria renovación de los muros de los muelles de Ámsterdam, debido a los crecientes problemas estructurales, cambiará los espacios frente al agua que son tan omnipresentes en la ciudad y, al mismo tiempo representa una oportunidad de integrar también nuevas funciones en los espacios frente al mar de la ciudad.

La tesis *Resilence by renovation*[158] propone que la renovación de las estructuras de los muelles en Ámsterdam pueda ser combinada con un esfuerzo para hacer que los espacios urbanos frente a los canales sean más adaptables al cambio climático. Los procesos subyacentes a la renovación del muro del muelle y el cambio climático se analizan utilizando tres escalas espaciales: la ciudad, el barrio y el frente al canal. Estas tres escalas revelan cómo los espacios frente a los canales de la ciudad contienen procesos que tienen lugar en los ecosistemas urbanos y cómo los conceptos de "soluciones basadas en la naturaleza" de "infraestructura verde" y "adaptación basada en el ecosistema" se pueden utilizar para proponer soluciones en ciudades con acceso al mar.

Los elementos constructivos implementados son elementos comercializados en el sector de la construcción. La innovación está en aprovechar las obras de reparación de los muros para realizar una completa transformación del entorno urbano con el objetivo de aumentar la resiliencia a los efectos del cambio climático. Esta transformación se basa en dos principios: i) incrementar las áreas con cobertura vegetal, y con ello la biodiversidad del entorno urbano, y ii) reducir el agua que drena a la red pública. En este sentido el proyecto plantea la sustitución de pavimentos impermeables por sistemas drenantes y la incorporación de zonas sin pavimentar y con cobertura vegetal.

Una de las aportaciones más interesantes es la de visualizar algunas obras de infraestructuras necesarias como oportunidades para el cambio, superando la actitud paliativa que a menudo plantean los estudios de impacto ambiental.

La propuesta analiza diversos tipos de soluciones para aplicar de forma conjunta con la necesaria ingeniería de renovación del frente de los canales, en función de los cuatro modelos de intervención definidos por las autoridades locales: reducción de las cargas que actúan sobre los muros -eliminación de aparcamientos, eliminación de pavimentos pesados-, refuerzo -

[158] Teh, Noelle, Resilience by renovation: opportunities for nature-based climate change resilience alongside the renovation of Amsterdam's quay wall waterfronts, TU Delft Architecture and Build Environment, 2020

construcción de pantallas metálicas provisionales rellenas de arena- o sustitución completa del muro.

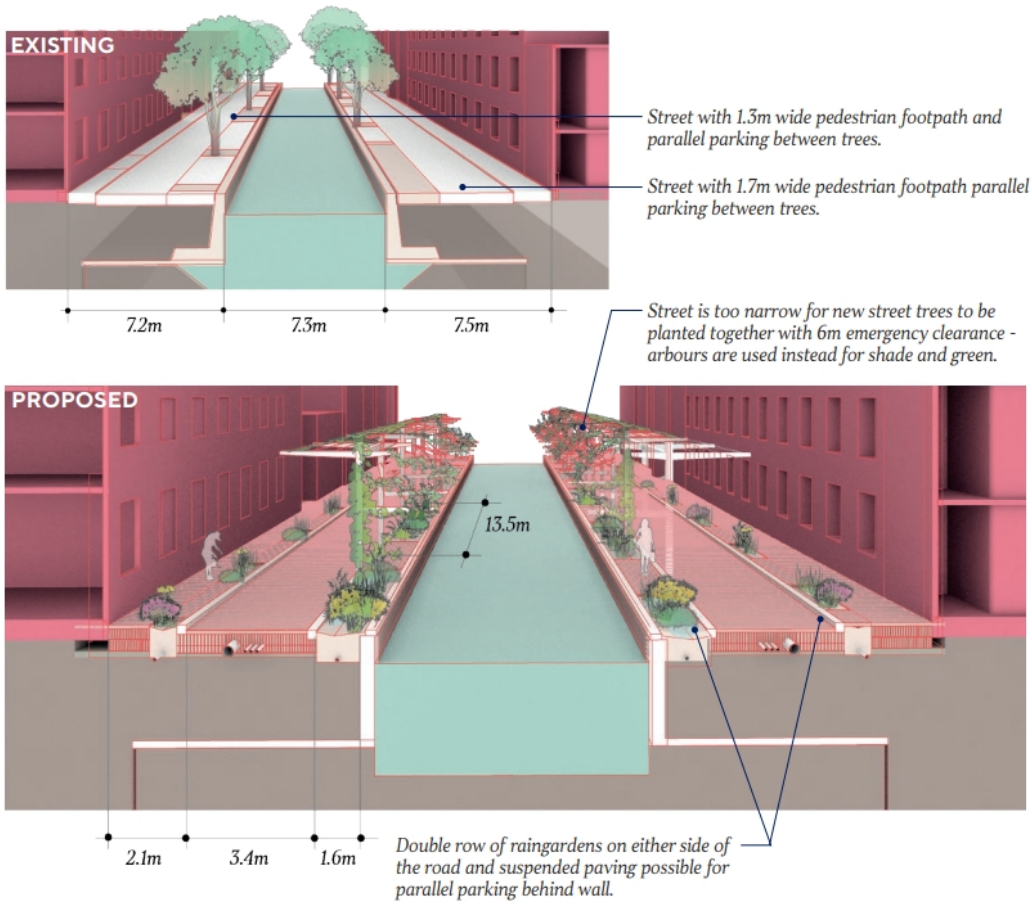


Figura 37. Propuesta de transformación de los pavimentos frente a los muelles. Fuente: Teh, N; Harteveld, M; Lammeren, R. MSc MADE Thesis: Resilience by renovation, Opportunities for nature-based climate change resilience, MSc Metropolitan Analysis, Design & Engineering.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• La propuesta supera las medidas paliativas habituales de los estudios de impacto de las obras de infraestructuras, para proponer una transformación positiva en términos ambientales • Reduce la aportación de aguas de escorrentía a los sistemas de drenaje. • Mejora la imagen urbana.	• Se trata de una propuesta específica para una situación muy concreta. En otras circunstancias probablemente resulte más interesante aplicar el modelo de análisis. • Debería de analizarse con mayor detalle la posible influencia del aporte de agua de escorrentía en las bases de los muros de los muelles.

Potenciales barreras para su implementación

Se trata de un proyecto específico vinculado a la renovación de los muelles de Ámsterdam, que parece bien estudiado en este contexto. La extrapolación a otros lugares con situaciones urbanas similares, como bordes de ríos o canales debería de estudiarse con detalle, y en especial debería de valorarse el posible lavado de la cimentación de los muros y el correcto drenaje de estos.

Finalmente deberían de valorarse las ventajas, en este caso concreto, de la infiltración freática de las aguas de lluvia frente a la solución del vertido directo al cauce.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Avances esperados o deseables en los próximos años

Existen un número importante de trabajos[159] sobre el efecto de la impermeabilización del suelo en entornos urbanos, y de su efecto respecto de la concentración de los caudales punta de lluvia y en la reducción de la recarga de los acuíferos. Esto es especialmente relevante en climas cálidos y secos, con fuertes lluvias estacionales, que se incrementaran aún con los efectos del cambio climático. Las propuestas de cubiertas vegetales y de pavimentos drenantes van en esta dirección, y su interés va en paralelo al incremento de propuestas comercializadas con un notable grado de efectividad.

Al mismo tiempo se plantean algunos problemas respecto de la calidad de las aguas de lavado de los pavimentos destinados al tráfico -arrastre de grasas y de restos de combustibles- que requerirían probablemente un tratamiento diferencial.

Por otra parte, el incremento de infiltración de las aguas de lluvia en el suelo permitiría un nuevo enfoque respecto del mantenimiento de la vegetación urbana en periodos secos, reduciendo la necesidad de riego en periodos estivales. La gestión en el propio subsuelo local, de las aguas aportadas por los sistemas de drenaje, podría ser un enfoque interesante para la reducción en el uso de agua para riego.

Resultados esperables

Desde un punto de vista de su replicabilidad, existen dos líneas de trabajo interesantes:

- La metodología del proyecto que analiza los trabajos de infraestructura a ejecutar y propone una actuación de mejora ambiental realista y a la vez transformadora.
- Las tecnologías de pavimentos y superficies drenantes como alternativa al drenaje canalizado de la escorrentía.

Una de las aportaciones interesantes de esta propuesta es la aproximación al problema de las infraestructuras urbanas, analizando las oportunidades que pueden significar la ejecución de este tipo de obras para transformar positivamente el entorno. En la mayor parte de casos vemos aún un nivel de desconfianza mutua entre los ingenieros encargados de los grandes trabajos de infraestructuras y los ambientólogos que tratan de reducir los impactos negativos de estas, que limita el trabajo conjunto. La propuesta de esta tesis va en la dirección adecuada para superar este tipo de barreras.

En paralelo el análisis del drenaje superficial, y en especial del que revierte en incrementos de caudales de las redes de alcantarillado y de la depuración, es un tema suficientemente importante y aún poco desarrollado como para aprovechar los ejemplos que ya están produciéndose. Una parte de este trabajo, que afecta también a las áreas no pavimentadas, está recogida con mayor detalle en la ficha de los jardines de lluvia.

Costes de instalación

El coste de reposición de un pavimento drenante es similar o inferior a muchos de los pavimentos convencionales. En el caso de un pavimento drenante de adoquín de hormigón, sobre base de gravas y relleno de arena, el coste medio[160] es de 25,35€/m^2.

Este coste puede incrementarse si se incluye la gestión del agua infiltrada con sistemas de retención o conducción localizada. Tratamientos como el de las cunetas vegetadas o zonas

[159] Andrés-Doménech, I.; Anta, J.; Perales-Momparler, S.; Rodriguez-Hernandez, J. (2021) Sustainable Urban Drainage Systems in Spain: A Diagnosis.Sustainability,13,2791.

[160] Generador de precios de la construcción, CYPE, 2021

verdes drenantes, o los jardines de lluvia, pueden tener un coste[161] algo menor de entre 15 y 25€/m^2.

Un concepto fundamental para aprovechar de forma ordenada los recursos es el de la oportunidad. La incorporación de pavimentos drenantes debería de producirse en el momento en que sea necesario sustituir el pavimento, ya sea por su deterioro o por el cambio de usos superficiales como la peatonalización.

Costes de operación

El coste de operación y/o mantenimiento es similar al de los pavimentos tradicionales. En el caso de pavimentos drenantes de piezas de hormigón[160], tipo adoquín, es de unos 0,30€/m^2, mientras que el de las soluciones verdes, debido a la necesidad de mantenimiento de la vegetación[¡Error! Marcador no definido.], puede variar entre 2,0 y 5,0€/m^2 año en función de las especies y la intensidad de usos de los espacios.

Aceptación social

El resultado final de los espacios con pavimentos drenantes es de forma general más atractivo que el de los pavimentos convencionales, de modo que la aceptación social será positiva. En el caso que este cambio se asocie a mayor espacio para el peatón en detrimento de la circulación rodada o el aparcamiento de vehículos, las reticencias de la población pueden ser mayores en algunos sectores y requerir ocasionalmente de un trabajo previo de difusión.

Destinatarios

- Ayuntamientos y otras administraciones que actúen sobre el espacio publico
- Promotores de complejos urbanísticos
- Urbanistas, arquitectos, ingenieros y otros técnicos que desarrollen proyectos en estos ámbitos
- Empresa fabricantes o distribuidoras de productos para pavimentación urbana

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Reducción de las escorrentías debidas a lluvias intensas que se incrementaran con el cambio climático
- Incremento de la biodiversidad urbana
- Reducción (indirecta) de la circulación rodada
- Mejora de la gestión del agua freática

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Se trata de un ejemplo de gestión del agua de escorrentía integrado a una obra pública necesaria.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Resilience by Renovation, Ámsterdam		2020	Tesis sobre la transformación del espacio urbano de los muelles de Ámsterdam

[161] Sara Perales Momparler & Elena Calcerrada Romero (2018) Guía Básica de Diseño de Sistemas de Gestión Sostenible de Aguas Pluviales en Zonas Verdes y otros Espacios Públicos, María Soledad Checa y Manuel de Pazos, Dirección General de Gestión del Agua y Zonas Verdes, Ayuntamiento de Madrid.

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Canal de Isabel II Madrid	Noelle Tech	2021	Centro de excelencia e investigación canal para la experimentación de técnicas de drenaje urbano sostenible (TDUS). En la planta experimental de Meco se probarán las técnicas tienen por objeto la retención de las primeras aguas de lluvia y conseguir reducir el volumen de agua que se transporta por las redes de alcantarillado y también el filtrado de estas aguas pluviales, que contienen mayor carga contaminante. Dentro de este espacio se están construyendo cuatro espacios para diferentes cubiertas vegetales, tres firmes porosos y dos zanjas drenantes, todas ellas con instalaciones para la medición de los caudales drenados tanto en calidad como en cantidad. En Meco, con unas condiciones climatológicas similares a las que existen en la mayoría de los municipios de Comunidad de Madrid, se probará y ensayará la capacidad de drenaje de distintos materiales que podrían emplearse en los desarrollos urbanos. Además, la planta podrá simular artificialmente otras condiciones climáticas distintas para poder analizar el comportamiento de estas técnicas en diferentes escenarios climáticos.
Passeig de Sant Joan Barcelona	Lola Domenech y Teresa Galí	2018	Remodelación de 30.000m^2 de pavimento, una parte importante de estos, drenantes
Nueva sede del BBVA, Madrid	Herzog & de Meuron	2015	Pavimentos drenantes y cubiertas vegetales en la nueva sede del banco BBVA en Madrid,

4.3.5.2 Utilización del micelio para generar aislantes térmicos

(Autores: Joan Sabat e Irene Rafols)

Áreas o sectores donde aplica:

- Urbanismo y edificación
- Energía

Tipología de la solución: Tecnología concreta

Solución / Tecnología

Utilización del micelio para crear materiales aislantes térmicos. El material se puede cultivar en forma de paneles, envases o directamente rellenando de cavidades de otros materiales, como paneles compuestos.

Descripción básica

El micelio es el conjunto de hifas que forman la parte vegetativa de un hongo. Estos filamentos blancos, y con un crecimiento de hasta un milímetro por hora, forma una compleja red que tienen la capacidad de cementar el sustrato utilizado para su crecimiento. El micelio actúa, de esta manera, como aglutinante biológico de diversos subproductos de actividades agrícolas o forestales.

Ecovative Design[162], ha desarrollado, con un equipo multidisciplinar, estructuras de micelio para aplicaciones diversas. Estos productos incluyen productos comestibles, espumas de micelio pura para aplicaciones en cosmética o estructuras de micelio con subproductos agrícolas o de residuos de madera.



Figura 38. Panel de micelio y fibras vegetales. Fuente: Ecovative.

Estas estructuras de mayor resistencia han sido desarrolladas bajo la denominación de *MycoComposite*™. El proceso de cultivo se realiza en un molde con la forma del producto final, con un substrato de cáñamo y una duración de 7 días. Estos productos se ya utilizan con éxito

[162] Ecovative Design LLC es una empresa de materiales con sede en Nueva York (EEUU), que ofrece alternativas sostenibles a los plásticos y las espumas de poliestireno para envases, materiales de construcción y otras aplicaciones mediante el uso de tecnología de hongos.

como embalajes comerciales para productos cosméticos diversos. Su duración está garantizada en 30 años y al final de su uso se puede compostar de forma natural.

También se han utilizado con éxito en productos de embalaje con micelio para diversos fabricantes internacionales[163].

Biohm, un equipo de investigación y desarrollo de productos con sede en Londres ha desarrollado un producto específico para arquitectura. Este producto denominado genéricamente Micelio – y que a diferencia del *MycoComposite™* no está disponible aún en el mercado- es descrito en la web de *Biohm* como "el primer producto de aislamiento de micelio acreditado del mundo".

Las características técnicas de los compuestos de micelio varían en función de las declaraciones de los fabricantes. En el caso de los productos de *MycoComposite™*, que disponen de ensayos bajo estándar ASTM C[518], alcanza una conductividad térmica de 0,039 W/mK, a 10ºC, similar a otros productos de aislamiento orgánicos. Los datos anunciados en la web de *Biohm* mejoran estos resultados hasta los 0,024W/mK. Por el contrario, otros estudios[164] reducen estos valores hasta 0,088W/mK.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• El "cultivo" de paneles aislantes para la construcción significa un cambio radical en la concepción de los materiales de construcción. • Permite desarrollar productos a medida, incluso producidos directamente en el interior de paneles de otros materiales, adaptados a las características de cada proyecto. • Las características técnicas declaradas por los equipos de desarrollo de productos resultan muy competitivas con otros aislantes, incluidos los de tipo vegetal. • El ciclo de vida del micelio -como la mayor parte de productos de origen vegetal- es inmejorable, producido a partir de residuos vegetales y es compostable al final de su ciclo de vida.	• Su uso en la construcción puede aún demorarse debido a la necesidad de mayor desarrollo experimental. • Faltan análisis contrastados de las prestaciones de los productos, en especial en el caso de *Biohm.* • No existen datos sobre el coste final del producto en el mercado. • Es necesario garantizar durabilidades compatibles con la edificación: *Ecovative Design* los cifra en 30 años y *Biohm* como "al menos tan duraderos como los convencionales".

Potenciales barreras para su implementación

La principal barrera en este momento es el escaso nivel de desarrollo del producto y su inexistencia en el mercado.

Una vez superada esta fase de desarrollo probablemente será necesario justificar de forma muy consistente la durabilidad del producto y su compatibilidad con otros materiales de la construcción como la madera. Se debería de trabajar la idea de que poner un "hongo" en la casa, no puede tener consecuencias negativas en la conservación del edificio.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 5)

Avances esperados o deseables en los próximos años

[163] Souza, Eduardo. (2020) "¿Edificios de hongos? Las posibilidades del micelio en la arquitectura". Plataforma Arquitectura.

[164] Patrick Pereira Dias, Laddu Bhagya Jayasinghe, Daniele Waldmann, (2021) Investigation of Mycelium-Miscanthus composites as building insulation material, Results in Materials, Volume 10.

Básicamente se trata de convertir un desarrollo experimental en un producto comercial incorporado al mercado, que garantice el cumplimento de las prestaciones, térmicas, acústicas, de comportamiento al fuego, y también de estabilidad y durabilidad.

Resultados esperables

En función de los resultados de su producción industrializada y de su coste, se puede esperar una introducción en el mercado en clara competencia con otros aislantes orgánicos como los de fibra de madera, celulosa, cáñamo, lana de oveja o fibras recicladas. Obviamente el producto resultante deberá de garantizar una durabilidad compatible con el uso en edificación. En relación con estos materiales el micelio pueda aportar, según los datos que presentan los fabricantes, un mejor comportamiento frente al fuego, que estos materiales deben de suplir incorporando sales de bórax u otros aditivos.

Costes de instalación

Los compuestos de micelio tienen un coste competitivo respecto de otros productos similares como la lana de madera. El costo de la materia prima de los compuestos de micelio[165] está situado entre 0,07-0,17 $ US / kg. Por el contrario, el proceso de producción de los aislantes a base de micelio precisa disponer de recipientes con la forma y dimensión del producto final, que estén inmovilizados durante una o dos semanas, hecho que puede dar lugar a un mayor coste final.

Costes de operación

El uso de aislantes de micelio no debería de incrementar el coste de mantenimiento, si bien esto se desconoce.

Aceptación social

Para lograr una buena aceptación social será necesario crear una imagen de producto ecológico innovador, que permita superar el concepto de pudrición asociada a los hongos.

Destinatarios

- Promotores de edificios sostenibles
- Arquitectos, ingenieros y otros técnicos que desarrollen proyectos en estos ámbitos
- Empresas, fabricantes o distribuidoras de productos de construcción

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que puede ayudar adaptarnos

- Cambio de temperatura
- Olas de calor
- Olas de frio / heladas

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Se trata de un nuevo producto de aislamiento térmico, con buenas propiedades acústicas y especialmente al fuego, que competirá con otros existentes en el mercado en un contexto de cambio climático en el que los materiales aislantes tendrán un papel fundamental en la reducción de consumos de energía y la resiliencia a los cambios bruscos de temperatura.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Existen experiencias de su uso en embalajes mientras que su uso en edificación es aún excepcional, como en el caso de algunas construcciones experimentales mostradas en el Moma de Nueva York.

[165] Jones, M.; Mautner, A.; Luenco, S.; Bismarck, A.; John, S. (2020) Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review, Materials & Design, Volume 187.

4.3.5.3 Espacios urbanos inundables

(Autores: Joan Sabat e Irene Rafols)

Áreas o sectores donde aplica:

- Urbanismo y edificación
- Agua

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Urbanización de un espacio libre entre edificios, en Rotterdam, para acoger diversos equipamientos como canchas de baloncesto, o pistas de monopatín. Estos espacios se convierten en tres grandes balsas de retención de aguas pluviales en caso de lluvias intensas.

Descripción básica

La intensidad del régimen de lluvias es un fenómeno que preocupa al Ayuntamiento de Rotterdam, que ve cómo muchas zonas del casco urbano se inundan cada año. El consistorio lleva tiempo promoviendo la construcción de depósitos subterráneos que captan y retienen el agua de lluvia[166]. Pero estas infraestructuras, son caras y a menudo invisibles, y sus efectos resultan poco evidentes a ojos de los contribuyentes.

Por este motivo, el gobierno municipal ha incorporado una nueva estrategia consistente en que los nuevos sistemas de almacenamiento de agua afloren a la superficie para hacerse explícitos e, incluso, para contribuir a mejorar la calidad medioambiental del espacio urbano, a reforzar la identidad de los barrios o al disfrute de los ciudadanos.

Siguiendo esta lógica, en 2011 se decidió destinar 4,5M€ a la construcción de un sistema de retención de aguas pluviales en el barrio de Benthemplein. Aparte de su función hidráulica, la obra debía servir para significar el espacio y dotarlo de atractivos que apelaran a los usuarios de los edificios que lo rodean. Con este fin, se promovió un proceso participativo que reunió a los profesores y alumnos del Graphic Lyceum y el colegio Zadkine, usuarios del teatro y el gimnasio, a miembros de la iglesia adyacente y a residentes del vecindario de Agniesebuurt.

Este proyecto se enmarca en el proyecto Rotterdam *Water City* 2030, desarrollado por el Ayuntamiento de Rotterdam y las administraciones implicadas en la gestión del agua y el *City Deal Climate Adaptation*. Se trata de una estrategia que incluye todos los ámbitos de gestión del agua, el rediseño del sistema de alcantarillado separando las aguas residuales y gestionando en superficie las de lluvia, depósitos subterráneos de retención, plazas inundables y la gestión del agua freática.

[166] En 2001 se elabora el Waterplan 1, que tuvo una revisión en 2007 con el Waterplan, renovado hasta 2030. Estos proyectos contemplan el problema del agua en Rotterdam, como una oportunidad de desarrollo. Se han incorporado acciones respecto de las cubiertas vegetales, pavimentos drenantes, jardines inundables y más recientemente espacios públicos usables que se inundan en caso de fuertes lluvias.



Figura 39. Water Square, Benthemplein Rotterdam, visión aérea. Fuente: Google.



Figura 40. Water Square, Benthemplein Rotterdam, pista de patinaje inundable. Fuente: Cathrotterdam (Wikimedia)

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• El uso de espacios exteriores inundables para laminar las grandes precipitaciones es mucho más económico que la construcción de depósitos subterráneos. • Este sistema complementa los sistemas tradicionales de gestión de escorrentías • Puede replicarse con facilidad en otras situaciones urbanas. • Este mismo concepto puede aplicarse en parques y zonas exteriores no pavimentadas. Esta situación, mucho más extendida, implica menores costes de mantenimiento debido a que no es necesario proceder a su completa limpieza en cada ciclo de llenado. • Permite visibilizar la gestión del agua de lluvia y las infraestructuras que este requiere.	• La implementación de espacios inundables requiere de dimensiones importantes de suelo urbano libre, con un uso restringido, que pueden ser difíciles de disponer en entornos existentes. • Los espacios exteriores inundables requieren de un mantenimiento adecuado, especialmente después de su inundación, debido a la posible acumulación de lodos y favorecer las plagas si no se realiza un correcto mantenimiento. • Sus características pueden generar barreras que dificultan la accesibilidad.

Potenciales barreras para su implementación

La implementación de este sistema en zonas urbanas consolidadas, especialmente en el sur de Europa donde la densidad urbana es mayor, puede topar con la falta de espacios adecuados ante inundaciones ocasionales.

Podría producirse contradicciones con las normativas de las zonas inundables -que limitan los usos públicos- que deberían de revisarse para poder aplicar este modelo.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Avances esperados o deseables en los próximos años

La gestión de las escorrentías debidas a las grandes precipitaciones no puede basarse exclusivamente en el incremento del dimensionado de las redes de saneamiento. Esta percepción es ya ampliamente compartida por las personas encargadas de su gestión y requiere de estrategias complejas y coordinadas como las desarrolladas por las administraciones de Rotterdam.

La incorporación de la gestión de las escorrentías en el diseño del espacio público ya sea con el uso de pavimentos drenantes, los sistemas de drenaje superficial o la creación de espacios inundables, parece la mejor de las opciones y va a incrementarse en los próximos años.

Resultados esperables

Es interesante destacar la aproximación global al problema de la gestión de las escorrentías llevada a cargo por las autoridades locales y de gestión del agua de Rotterdam, en la que se incluye como dato clave la resiliencia y la adaptación a los efectos del cambio climático.

Es previsible que los proyectos de áreas inundables sean mucho más habituales en los próximos años, y seria también deseable que puedan enmarcarse en una estrategia pensada de forma global para la gestión de las escorrentías

Costes de instalación

El proyecto de *Water Square* tuvo un coste de 4,50M€ en 2013. La superficie de la actuación es de 9.000m^2, de modo que el precio unitario fue de 500€/m^2. Este coste es compatible con los costes habituales de urbanización en los Países Bajos, y mucho menor que la construcción

de un depósito enterrado de la misma capacidad, que además habría necesitado de una urbanización superficial de coste similar a la ejecutada.

Costes de operación

El coste del mantenimiento de un espacio urbano inundable se debe fundamentalmente a la necesidad de una limpieza importante y especifica después de cada inundación. El sobrecoste de estas operaciones, en relación con el mantenimiento de un espacio público no inundable dependerá en gran medida del número de situaciones de inundación anuales, y de la cantidad de lodo que pueda llegar a la zona inundable. También dependerá de si es necesaria una protección perimetral móvil durante el periodo de inundación, de acuerdo con la normativa legal y del riesgo de caída accidental. Si estas protecciones han de ser desmontables deberá de incluir-se el montaje y desmontaje de estas en cada episodio de lluvia intensa.

Como referencia de otros sistemas, se estima[167] que el coste de mantenimiento de un estanque de retención húmedo -con agua permanente- se sitúa entre 0,5 y 1,5€/m^2 y año.

Aceptación social

La aceptación social es buena, ya que significa una mejor del espacio urbano. Esta aceptación podría estar condicionada al correcto mantenimiento del espacio después de cada gran lluvia.

Destinatarios

- Municipios y gestores de la urbanización de espacios urbano
- Responsables de la gestión de los recursos hídricos y del subsuelo
- Responsables de emergencias y planes de contingencia frente a fenómenos meteorológicos
- Arquitectos, ingenieros y otros técnicos que desarrollen proyectos urbanos

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que puede ayudar adaptarnos

- Variabilidad pluvial y/o hidrológica
- Fuertes precipitaciones
- Estrés hídrico

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Se trata de un nuevo producto de aislamiento térmico, con buenas propiedades acústicas y especialmente al fuego, que competirá con otros existentes en el mercado.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Water Square, Rotterdam	Ayuntamiento de Rotterdam	2013	Urbanización de un espacio con una zona inundable para retener agua de lluvia.
La Marjal Alicante	Ayuntamiento de Alicante	2013	Parque urbano inundable.
Plaza Tåsinge Copenhague	GHB Landscape Architects	2014	Plaza en el centro de la ciudad con pavimentos permeables y espacios inundables.

[167] Jeroen C.J.H. Aerts, A Review of Cost Estimates for Flood Adaptation, Institute for Environmental Studies, (IVM), VU University Amsterdam, 2018

4.3.5.4 Aplicaciones de bioingeniería para reducir los riesgos asociados a las avalanchas

(Autores: Joan Sabat e Irene Rafols)

Áreas o sectores donde aplica:

- Alerta temprana
- Biodiversidad y desarrollo
- Urbanismo y edificación

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

PHUSICOS: "*According to Nature*" consiste en la utilización de soluciones basadas en la naturaleza para reducir los riesgos asociados a los fenómenos meteorológicos extremos, especialmente en áreas vulnerables como zonas montañosas rurales, donde sean técnicamente viables, rentables y aplicables a nivel regional.

Descripción básica

En los Pirineos, así como en otras montañas europeas, los estudios han indicado que los deslizamientos de tierra y las posteriores inundaciones han disminuido en los lugares donde los bosques han conquistado los pastizales, especialmente en su parte más alta. En algunos casos, la reforestación ha demostrado su utilidad para hacer frente a eventos extremos hidroclimáticos al reducir la intensidad de la amenaza.

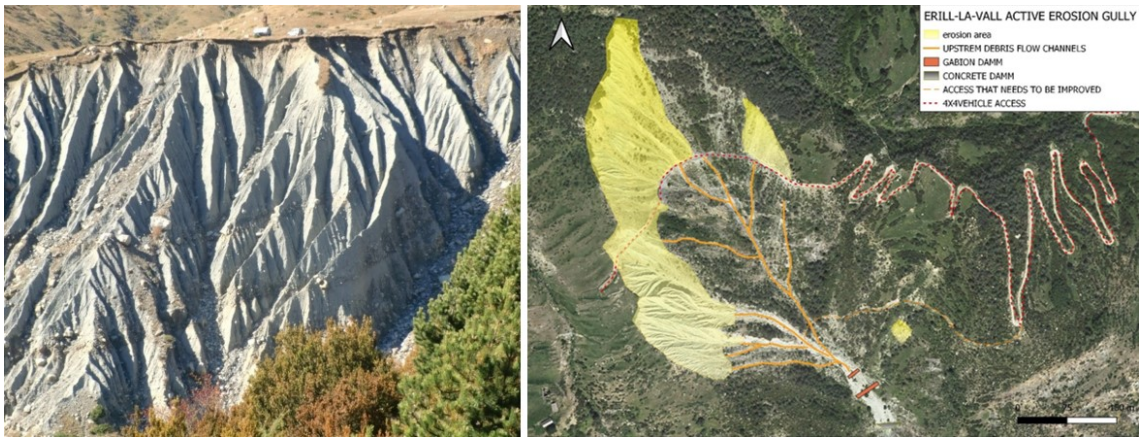


Figura 41. Ladera de fuerte erosión (canchal) y cuenca de captación de piedras sobre el pueblo de Erill la Vall. Fuente: Phusicos.

Sin embargo, este impacto positivo es muy local y, lo que es más importante, no incluye las implicaciones más amplias del impacto socioeconómico del abandono de la tierra y la reducción del tamaño de los pastos. Es necesario demostrar y monitorear la reforestación en ambientes relevantes para comprender las implicaciones de las especies arbóreas, los sistemas de drenaje y las prácticas agropastorales.

La Comunidad de Trabajo del Consorcio Pirineos (CTP) se está acercando a las comunidades locales en estas áreas naturales vulnerables para involucrarlas en un diálogo activo para el diseño conjunto de estrategias, esquemas de financiamiento, sistemas de monitoreo, servicios y políticas relacionadas. Las demostraciones propuestas se realizarán en colaboración con el trabajo previsto de los municipios y propuestas de proyectos que reciban financiación del Programa Operativo de Cooperación Territorial España-Francia (POCTEFA) para 2014-2020.

Este programa se centra en "Promover la protección, el desarrollo y el uso sostenible de los recursos locales" y "Promover la adaptación al cambio climático y la prevención y gestión de riesgos". Uno de los objetivos es proponer cambios de uso del suelo como una herramienta para estabilizar toda la cuenca y los valles, con el apoyo de las comunidades locales.

El proyecto PHUSICOS, en colaboración con la Comunidad de Trabajo del Consorcio Pirineos (CTP), ha desarrollado diferentes proyectos en los Pirineos. En concreto en la carretera A-136, entre Santa Elena y Artouse, en Barènges o en el municipio de Erill la Vall, cerca del Parque natural de Aigüestortes.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Menor impacto ambiental, al reducir el trasporte de materiales pesados, a menudo en helicóptero. • Mayor integración en el entorno. • Utilización de materiales y mano de obra local. • Operaciones de mantenimiento menos costosas que con los sistemas tradicionales. • Mejora de la seguridad de las personas que habitan en la zona. • Apoyo al turismo rural al facilitar el acceso y garantizar la seguridad.	• Las tecnologías de bioingeniería están aun socialmente consideradas como medidas menores, frente a situaciones de riesgo importante.

Potenciales barreras para su implementación

La utilización de técnicas de bioingeniería en la contención de avalanchas, control de taludes y adecuación de cauces hidrológicos está muy extendida en estos momentos.

Existe el peligro de considerar este tipo de trabajos como exclusivamente paisajísticos o de duración limitada.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 7)

Avances esperados o deseables en los próximos años

El incremento de fenómenos meteorológicos adversos o catastróficos está vinculado al cambio climático y aumentará de forma importante en las próximas décadas. Es necesario poder contar con tecnologías de protección y mitigación económicas y duraderas, y que sean compatibles con el mantenimiento de los valores paisajísticos y de biodiversidad.

Las soluciones de bioingeniería son un pilar fundamental de esta estrategia de adaptación.

Resultados esperables

La extensión de las soluciones basadas en la naturaleza como forma habitual de control de la erosión, las avalanchas y la gestión de los cauces de agua.

Costes de instalación

El proyecto se está implementando y no se indican costes de construcción.

Costes de operación

Los costes de mantenimiento de las soluciones de bioingeniería no son mayores que las tradicionales, como mallas metálicas o similares.

Aceptación social

La aceptación social es media-alta, no hay agentes sociales posicionados en contra de esta solución y sí en cambio a favor. Esta aceptación podría estar condicionada a la percepción de falta de fiabilidad o de durabilidad de las estrategias basadas en la naturaleza.

Destinatarios

- Municipios y administraciones de zonas montañosas
- Responsables de la gestión de parques naturales
- Responsables de emergencias y planes de contingencia frente a fenómenos meteorológicos
- Técnicos que desarrollen proyectos en estos ámbitos

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que puede ayudar adaptarnos

- Avalanchas
- Deslizamientos de tierras
- Inundaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Una de las consecuencias más vivibles del cambio climático es el incremento de fenómenos meteorológicos más intensos y frecuentes. En las zonas montañosas o con terrenos en pendiente e inestables, estos fenómenos aumentan el riesgo de que se produzcan desprendimientos, avalanchas e inundaciones.

El uso de soluciones basadas en la naturaleza puede no sólo reducir el riesgo de este tipo de eventos, sino que también puede mejorar el ecosistema interactuando con estrategias de conservación.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Noruega, Alemania, Austria, Italia, España, Francia, Andorra.	Proyecto Horizon 20220, liderado por NGI, con CREAF (ESP) y el Consorcio de la Comunidad de Trabajo de los Pirineos	2020	Proyecto Phusicos Utilización de soluciones basadas en la naturaleza en situaciones de riego geológico o hidrológico en zonas montañosas
Múltiples países	Proyecto Horizon 2020 CEE, coordinado por la Universidad de Bolonia (UNIBO) con *Naturalea* (ESP)	2020	Proyecto Operandum Proyecto de utilización de soluciones basadas en la naturaleza en 10 entornos naturales
Inglaterra	*University of Oxford*	2021	Nature-based Solutions Initiative Programa de investigación de la Universidad de Oxford, para evaluar el potencial de las NBS
Sri Lanka	The Asian Disaster Preparedness Centre	2020	NBS for landslide Risk Propuestas de soluciones basadas en la naturaleza para prevención de riesgos de avalanchas y desprendimientos de tierras en Sri Lanka

4.3.5.5 Integración de paneles fotovoltaicos en cubiertas vegetales (Proyecto Resilio)

(Autores: Joan Sabat e Irene Rafols)

Áreas o sectores donde aplica:

- Urbanismo y edificación
- Agua

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Proyecto de implantación de cubiertas que integran superficies vegetales con paneles solares fotovoltaicos, que permiten acumular y gestionar el agua de lluvia. Un sistema informático gestiona el conjunto de estas cubiertas en función de las previsiones meteorológicas.

Descripción básica

La municipalidad de la ciudad de Ámsterdam prevé implantar 10.000m^2 de cubiertas verde-azules, que integran vegetación y producción solar, de los cuales 8.000m^2 estarían situadas sobre edificios residenciales públicos.



Figura 42. Cubierta vegetal con paneles solares. Foto: Resilio.

Ámsterdam está experimentando los efectos del cambio climático: inundaciones repentinas debido a las fuertes lluvias, temperaturas más altas y el aumento de las sequías.

El proyecto RESILIO tiene como objetivo abordar los desafíos climáticos urbanos críticos relacionados con las inundaciones, el calor, el suministro de agua, el consumo de energía y la habitabilidad urbana mediante la reutilización de los tejados de los barrios vulnerables al clima de Ámsterdam. Se espera que el área de 10.000 m^2 de techos verdes azules inteligentes ayude a la ciudad a adaptarse al cambio climático al reducir los impactos de las fuertes lluvias, el efecto de isla de calor urbano y la sequía, al tiempo que mejora el aislamiento de los edificios, la biodiversidad y la calidad de vida.

Un sistema de celdas separa el substrato vegetal de la capa de impermeabilización, permitiendo la acumulación de agua hasta unos 70 l/m^2. Unas compuertas motorizadas permiten controlar la capacidad de este liviano aljibe. Este sistema tiene un "control de flujo inteligente" que anticipa fuertes lluvias o sequías, liberando o reteniendo agua en consecuencia. Los techos están conectados en una red, lo que permite la regulación remota de los niveles de agua de la azotea en función de las previsiones meteorológicas y la configuración de gestión del agua. RESILIO se basa en 5 años de I + D de tecnología de cubierta verde azul inteligente realizado por varios de los socios del proyecto.

Después del éxito comprobado de las cubiertas verdes azules individuales en Ámsterdam, RESILIO construirá una red inteligente de cubiertas que permitirá el intercambio de datos en tiempo real para niveles de agua dinámicos. Por lo tanto, se crea por primera vez en Europa y en todo el mundo, una escala y un tipo de gestión adaptativa del agua urbana completamente nuevos.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Las cubiertas vegetales limitan los efectos de isla de calor urbana, reducen la reflectividad de las cubiertas, incrementan la biodiversidad y permiten un uso social más intenso de la cubierta • Desde el punto de vista térmico, aportan inercia -especialmente si acumulan agua- y en menor medida contribuyen al aislamiento térmico global del edificio • La retención de agua producida por el substrato y la vegetación genera un efecto de laminación de las escorrentías, incrementado en este caso por la acumulación de agua bajo el substrato y la gestión de esta acumulación en función de la meteorología • Las placas fotovoltaicas incorporan la generación de energía renovable y, en situaciones de estrés hídrico, incrementan el agua disponible para la vegetación, al incrementar la superficie de captación respecto de la superficie vegetal. • El efecto evapotranspirativo de las plantas reduce la temperatura superficial de la cubierta, mejorando el rendimiento de las placas fotovoltaicas. Se estima que la cubierta verde mejora el rendimiento de los paneles: + 3,6% y $2595 en 8 meses[168]. • Este modelo tiene una gran capacidad de replicación y se puede implementar en un periodo corto de tiempo. Debería de generalizarse en el caso de obras nuevas	• En edificios existentes, la implementación de cubiertas verdes, y en especial de aquellas que acumulan agua, está limitada por la capacidad portante de la estructura • El modelo de acumulación de agua está limitado también por la pendiente de la cubierta, ya que la altura máxima del agua está limitada a 10-12cm y con pendientes habituales del 2% con sólo 5-6m se alcanza ya este diferencial de cota. Por ello en nuevas edificaciones se recomienda el uso de cubiertas sin ninguna pendiente. • El nuevo espacio común creado requiere de una gestión que debe de implementarse, y que queda ampliamente justificada con los múltiples beneficios que genera. • El efecto de este programa de 10.000m^2 de cubierta sobra la gestión real de las escorrentías se ve limitado por la relativamente escasa capacidad de almacenamiento. En concreto se podrán estocar unos 700m^3, cantidad muy reducida si tenemos en cuenta el valor de las lluvias intensas

Potenciales barreras para su implementación

La implementación de este sistema en edificios existentes está limitada por la capacidad de carga de las cubiertas y por coste de implantación. Estas dificultades pueden reducirse en el caso de actuaciones en la cubierta que impliquen cambio de impermeabilización y mejora del aislamiento. Una opción relativamente simple consiste en eliminar los materiales que generan pendientes existentes y aprovechar la reducción de peso para incorporar la nueva cubierta vegetal.

El coste actual en España es aún elevado, debido sobre todo a su novedad. Una implantación más extendida del modelo reportará reducciones de costes que no se justifican por su complejidad ni por el coste unitario de los materiales.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Avances esperados o deseables en los próximos años

[168] UTS, lendlease & Junglefy (2021) "Green Roof & Solar Array – Comparative Research Project." Final Report.

Sería deseable un mayor apoyo público a este tipo de soluciones, incentivándolo tanto en actuaciones de nueva planta como en rehabilitaciones.

Resultados esperables

En los climas cálidos la cubierta vegetal aporta la estabilidad térmica deseable en verano, tanto por la propia masa como por el efecto de sombreado y evapotranspiración de las plantas. La utilización de las cubiertas vegetales suscita a menudo en estos climas una controversia sobre la necesidad -o el sentido- de su riego en verano. La falta de agua es unos de los problemas derivados del cambio climático más acuciantes en las zonas subtropicales, y especialmente grave en la cuenca mediterránea. En este sentido la incorporación de placas fotovoltaicas que generan sombra sobre la cubierta y aportan superficie de captación de agua de lluvia adicional, aparece como una gran oportunidad.

Costes de instalación

El coste del proyecto es de 4,8M€ que incluye gastos de creación, gestión y difusión de la propuesta. No hay datos existentes sobre el coste m^2 de la solución en obra. El coste actual de un sistema similar en España puede situarse en torno a les 80-100 €/m^2 en edificaciones nuevas, sin el sistema de control.

Costes de operación

El coste de mantenimiento de una cubierta vegetal no es elevado y puede variar de forma notable en función del uso de la cubierta y de su imagen. Si estamos dispuestos a aceptar la presencia de hierbas verdes y con flores en primavera, pero amarillas en verano, el mantenimiento se limita a un par de visitas anuales, entre 2 y 4 €/m^2 al año para una cubierta de unos 100m^2. Además, la durabilidad de la impermeabilización se incrementa al mantener una temperatura más estable, con lo que puede alargarse el tiempo de reposición de la membrana.

Aceptación social

La aceptación social es aún variable. Hay una fuerte presión por incorporar la vegetación en la ciudad, pero al mismo tiempo existe un rechazo -casi ancestral- a la cercanía del verde a nuestra casa, y en especial a la cubierta, ya que se asocia a su deterioro.

Destinatarios

- Municipios y gestores urbanos
- Responsables de promoción y gestión de viviendas
- Urbanistas y responsables de normativas urbanas
- Arquitectos, ingenieros y otros técnicos que desarrollen proyectos en estos ámbitos

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que puede ayudar adaptarnos

- Variabilidad pluvial y/o hidrológica
- Incremento de temperaturas, olas de calor
- Fuertes precipitaciones
- Estrés hídrico

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Se trata de una integración muy interesante de estrategias existentes en el mercado, incorporando un sistema de gestión que se intuye efectivo.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Ámsterdam[169]	Ayuntamiento de Ámsterdam y 9 socios locales	2020	Instalación de cubiertas verdes, con acumulación de agua de lluvia, paneles fotovoltaicos y gestión integrada del agua.
Daramu House	Jonathan Evans y Philip Thalis	2020	Edificio de uso comercial, con estructura de madera y cubierta vegetal con paneles fotovoltaicos
Low Impact Mediterranean Architecture, LIMA	Joan Sabaté y Christoph Peters, Escuela de Arquitectura de la Salle, Universidad Ramon Llull, Barcelona	2010	Prototipo experimental de vivienda de emisiones cercanas a cero durante todo el ciclo de vida.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Administraciones que incidan en planes urbanísticos o de gestión de la ciudad
- Promotores de edificios públicos y privados
- Arquitectos, ingenieros y otros técnicos vinculados a la actividad
- Empresas constructoras de cubiertas

[169] RESILIO, Resilience nEtwork of Smart Innovative cLImate-adapative rOoftops.

4.3.5.6 Sistema de análisis térmico asociado al teléfono inteligente

(Autores: Joan Sabat e Irene Rafols)

Áreas o sectores donde aplica:

- Urbanismo y edificación
- Energía

Tipología de la solución: Solución "Tecnologías de la información" - IT

Solución / Tecnología

ThermalFY ha desarrollado un software de análisis térmico en tiempo real que permite la recopilación e interpretación de datos térmicos desde su teléfono inteligente o navegador web.

Descripción básica

La captura de imágenes con una cámara térmica ha demostrado ser extremadamente útil en el análisis de la eficiencia energética de los edificios. En obra nueva permite detectar errores de ejecución, como mala colocación de los aislamientos, infiltraciones por falta de sellado u otros defectos de proyecto o ejecución.

En rehabilitación permite realizar un enfoque detallado de las estrategias para la reducción del consumo energético, la limitación de las condensaciones o la mejora del confort interior - detección de infiltraciones de aire, sobrecalentamiento por excesiva exposición solar, etc.- Asimismo es una excelente herramienta para realizar una comprobación, una vez ejecutada la obra, de la correcta realización de los trabajos. ThermaFY ha desarrollado un software de análisis térmico con diferentes aplicaciones que utiliza una cámara térmica asociada a un teléfono inteligente.

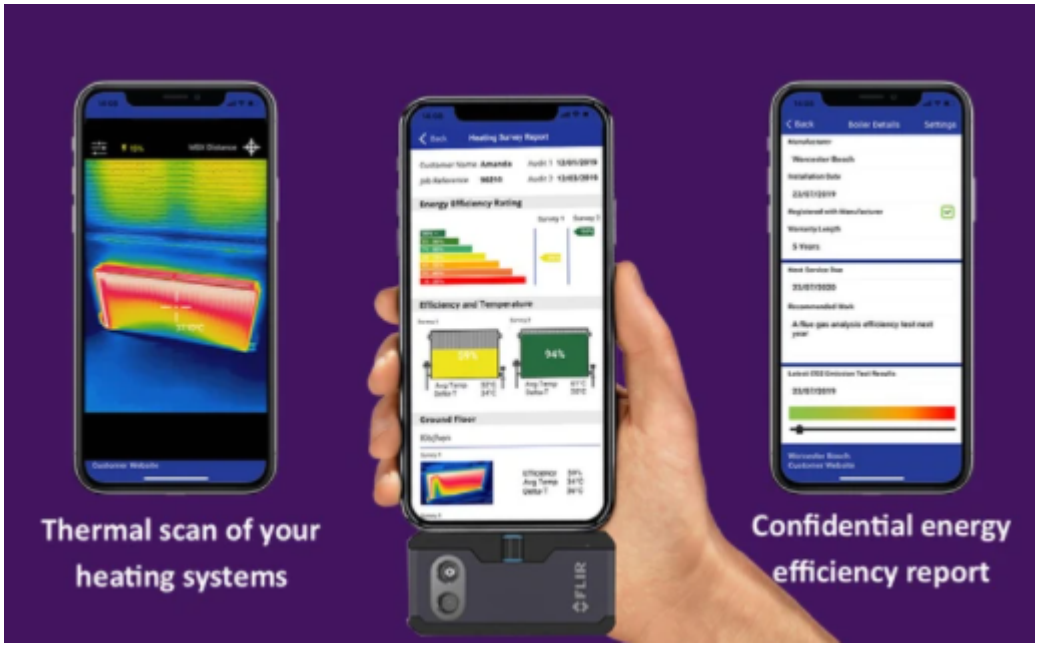


Figura 43. Visualización y análisis térmico de un radiador. Fuente: ThermaFY.

Para la eficiencia en edificios han desarrollado el software ThermaFY ECO que permite realizar tres tipos de acciones:

- Visualizar y capturar los datos de temperatura
- Medir: los valores útiles a través del procesamiento de imágenes y datos
- Generar informes visuales para mostrar los resultados en un formato comprensible para el cliente.

La cámara de imágenes de ThermaFY captura imágenes y datos de temperatura. Su software bajo la plataforma Microsoft Azure utiliza el aprendizaje automático para calcular métricas útiles a través del procesamiento de imágenes y datos. Los informes visuales muestran los resultados en un formato comprensible para los usuarios finales.

La empresa ofrece una revisión de la vivienda utilizando su tecnología, a un precio muy asequible, y también comercializa directamente sus equipos.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• ThermaFY es una herramienta de análisis térmico aplicable a muchos ámbitos, que incluye un análisis de la imagen y un informe final. • Se trata de una herramienta útil para verificar la eficiencia de los sistemas térmicos, incluidos los edificios completos. • Su bajo precio y facilidad de uso permite su utilización para un numero mucho mayor de usuarios	• No aporta novedades destacadas respecto a otros programas de análisis térmico existentes en el mercado.

Potenciales barreras para su implementación

No existen barreras para su implementación.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

El uso de cámaras térmicas está muy extendido en el sector de la eficiencia energética, además el análisis de las imágenes no ofrece mucha dificultad. Sin conocer exactamente que aporta el software desarrollado, ya que en la web se describe sólo en términos comerciales.

Avances esperados o deseables en los próximos años

El uso de este tipo de instrumentos de análisis se incrementará notablemente.

Resultados esperables

Sería deseable incorporar este tipo de análisis en las certificaciones energéticas de edificios existentes.

Costes de instalación

No existen datos en la web del coste de los equipos, pero si una política de garantía y devolución de los equipos, que presupone su venta.

Costes de operación

El coste del programa es de 150,00€, al que hay que añadir unos 300€ adicionales para la compra de la cámara térmica asociada al teléfono móvil.

Aceptación social

La aceptación social es muy alta, ya que las imágenes térmicas son atractivas, facilitan la comprensión del problema y generan una imagen de control y seguridad.

Destinatarios

- Empresas dedicadas a la eficiencia energética
- Responsables de promoción y gestión de viviendas
- Arquitectos, ingenieros y otros técnicos que desarrollen proyectos en estos ámbitos

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que puede ayudar adaptarnos

- Cambios en las temperaturas
- Variabilidad térmica
- Olas de calor y frío

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Se trata de una integración interesante de las capacidades de los *smartphones* con la adición de una cámara térmica. En estos momentos existente ya diversas marcas que incorporan directamente en su smartphone una cámara térmica.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Reino Unido	ThermaFY Eco Solutions	2021	Software de análisis térmico a partir de los datos de una cámara térmica asociada a un smartphone.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Promotores de edificios públicos y privados
- Arquitectos, ingenieros y otros técnicos vinculados a la actividad
- Empresas constructoras

4.3.5.7 Torres de captación de viento

(Autores: Joan Sabat e Irene Rafols)

Áreas o sectores donde aplica:

- Urbanismo y edificación
- Estrés térmico
- Incremento de temperaturas / olas de calor

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Sistema de ventilación y enfriamiento tradicional en países muy cálidos y secos. A través de unas torres abiertas por los lados, y orientadas al viento, se capta el aire circulante y se introducen al interior del edificio por su propio empuje. Ocasionalmente este aire se hace pasar por espacios con agua o con superficies húmedas (tinajas porosas) para generar un enfriamiento adiabático[170], sólo útil con humedades bajas.

Descripción básica

La ventilación y el enfriamiento naturales han desempeñado un papel fundamental a la hora de proporcionar condiciones de confort en países cálidos. Los captadores de viento son sistemas de enfriamiento pasivo tradicionales y uno de los elementos más familiares en la arquitectura iraní. Pueden influir significativamente en la reducción de las cargas de refrigeración y proporcionar la tasa de ventilación necesaria de los edificios.



Figura 44. Bâdgirs (captadores de viento de viento). Fuente: Kheirkhah, P. y Nasrollahi N.

El documento publicado[171] por los profesores Parham Kheirkhah y Nazanin Nasrollahi de la Universidad de Llam, en Iran, tiene como objetivo proporcionar una revisión en profundidad

[170] El enfriamiento adiabático o evaporativo, se produce con el cambio de estado del agua, cuyo paso de líquido a gas precisa de energía, que toma de su entorno, produciendo un efecto de reducción de la temperatura.

[171] Parham Kheirkhah Sangdeh, Nazanin Nasrollahi, Windcatchers and their applications in contemporary architecture,Energy and Built Environment,Volume 3, Issue 1,2022, Pages 56-72.

de los desarrollos y aplicaciones recientes de los captadores de viento en la arquitectura moderna.

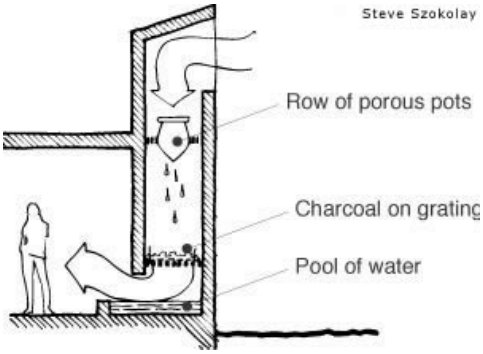


Figura 45. Torre de viento con sistema evaporativo. Fuente: Szokolay, SV, 1980.

La eficiencia del captador de viento se analiza de acuerdo con sus parámetros básicos, es decir, altura, configuración y sección transversal. Esta revisión integral revela que estos factores tienen impactos significativos en el desempeño de los captadores de viento.

Se analiza el funcionamiento de diversos tipos de captadores de viento en función de las diferentes configuraciones, como el número de huecos o la velocidad del viento. El estudio recoge también los diseños más modernos de captadores de viento, que en algunos casos incluyen ventiladores, tecnologías de aspersión de agua para forzar la refrigeración adiabática (debida a la evaporación) y su uso en edificios contemporáneos, como escuelas, estadios, invernadero y otros.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Se trata de un sistema de ventilación y refrigeración tradicional, muy efectivo en climas cálidos y secos, que funciona de forma pasiva sin necesidad alguna de aporte energético. • La recuperación de tecnologías tradicionales pasivas, esto es sin aportación energética externa, es una línea de trabajo estratégica para la reducción de la demanda energética y que no está en contradicción con el uso de otras tecnologías más complejas o que requieran energía exterior • Este modelo tiene una gran capacidad de replicación como sistema de ventilación natural. Su utilización como sistema de refrescamiento adiabático, con evaporación de agua será útil en zonas con humedades bajas, ya que en caso contrario podría incrementarse la sensación de bochorno debido al exceso de humedad	• El uso de captadores de viento puede ser complejo en edificios existentes, ya que requiere un espacio importante. A pesar de ello se puede considerar integrar este concepto en espacios ya existentes, como patios de luces o escaleras comunitarias

Potenciales barreras para su implementación

La principal barrera para la implementación de esta solución, y de otras de tipo pasivo, es el desconocimiento y la desconfianza que generan. La arquitectura abandonó hace tiempo el control del confort de los edificios y cedió todo el protagonismo a los sistemas técnicos mecánicos. Esta situación está cambiando poco a poco, pero muchas personas aún prefieren confiar en los equipos mecánicos, y energéticamente ineficientes por estar sobredimensionados, para garantizar las condiciones de confort.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Avances esperados o deseables en los próximos años

El análisis del funcionamiento y la medición de los resultados de los sistemas pasivos, como el que propone este trabajo, es fundamental para poder comparar su eficacia con los sistemas activos, que están perfectamente codificados.

Resultados esperables

La recuperación de las estrategias pasivas como la ventilación transversal, la inercia térmica, los captadores de viento o las chimeneas solares, representa un factor importante en la obtención de edificios de demandas muy bajas. Este esfuerzo de reducción de la demanda deberá acompañar a los sistemas de producción de alta eficiencia y la generación eléctrica distribuida.

Costes de instalación

El coste de estos sistemas, en obras nuevas, se incluye dentro de los costes generales sin casi incrementos. En obras de rehabilitación deben de estudiarse preferentemente la transformación de patios o escaleras en conductos de ventilación con estos sistemas.

Costes de operación

El coste operacional es prácticamente nulo.

Aceptación social

No existe una conciencia social sobre estas tecnologías, en todo caso una cierta desconfianza. Al tratarse de opciones poco visibles su desarrollo dependerá del éxito de los prototipos que se realicen. Por ello es tan importante que los proyectos que los integren estén bien elaborados.

Destinatarios

- Responsables de promoción y gestión de viviendas
- Comunidades de propietarios, cooperativas de viviendas y agrupaciones sociales vinculadas
- Arquitectos, ingenieros y otros técnicos que desarrollen proyectos de edificación

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que puede ayudar adaptarnos

- Incremento de temperaturas
- Olas de calor

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Se trata de una tecnología muy simple y económica de paliación de los efectos del sobrecalentamiento en edificios.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Colorado, EEUU	DesignBuildBLUFF /U Universidad de Colorado (EEUU)	2012	*Windcatcher House* Vivienda en una zona desértica con suso de muros de adobe y refrigeración con torres de viento
Ahmedabad, India	Nimish Patel y Parul Zaveri	1999	Torrent Research Centre Centro de investigación con ventilación natural y refrigeración evaporativa
New Gourna, Egipto	Hassan Fathy	1952	Escuela infantil Uno de los mejores ejemplos de reinterpretación contemporánea de la tradición arquitectónica y constructiva de la cultura árabe

4.3.5.8 Estrategia de resiliencia para el Ebro

(Autores: Laura del Val Alonso)

Áreas o sectores donde aplica:

- Urbanismo y edificación
- Finanzas y aseguradoras
- Agua
- Biodiversidad y Patrimonio Natural

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Conjunto de medidas encaminadas a minimizar el riesgo de inundación en el eje del Ebro, sea otorgándole más espacio al río, facilitando la apertura de cauces alternativos de inundación, o mediante embalses temporales para captar el exceso de caudal.

Descripción básica

Las inundaciones son el riesgo natural que mayor número de pérdidas económicas supone en nuestro país, dañando viviendas, edificaciones, industrias e infraestructuras a su paso. Los efectos del cambio climático, junto a la actividad humana y procesos de urbanización, están haciendo que las inundaciones sean cada vez más frecuentes y de mayor magnitud. Por esta razón, los planes de prevención del riego de inundaciones están siendo ajustados para poder adaptar las zonas más vulnerables a la ocurrencia inevitable de estos fenómenos.

Este es el caso de la cuenca del río Ebro. A lo largo de la cuenca hidrográfica del Ebro se han identificado 1.721 km de Áreas de Riesgo Potencial Significativo (ARPSI). Esto son tramos fluviales en los que el riesgo de inundación es muy alto. Uno de los ARPSI es todo el tramo medio del río Ebro desde la desembocadura del río Iregua, en Logroño (La Rioja), hasta La Zaida (Zaragoza)[172].

Para dar respuesta a este aumento del riesgo de inundación y poder minimizar las perdidas periódicas que supone, la Confederación Hidrográfica del Ebro ha diseñado una estrategia pionera en nuestro país, la estrategia *Ebro Resilience* para ser aplicada a lo largo del tramo medio del río Ebro.

La estrategia *Ebro Resilience* aglutina un conjunto de actuaciones de diversa índole:

- Mejora de las defensas estructurales: reparando las infraestructuras lineales de defensa, como motas o muros que protegen núcleos urbanos.
- Mejora de la capacidad de desagüe del cauce: abrir ramales en la vegetación, labrando el lecho de estos ramales para facilitar la movilización de los sedimentos con caudales normales, así como en retranquear motas para devolver espacio al río.
- Permeabilización de infraestructuras creando cauces de alivio: los cauces de alivio son zonas longitudinales al cauce principal, excavados a menor cota que este, lo que facilita el desvío del agua en situaciones de avenida.
- Establecimiento de perímetros de seguridad ante desbordamientos: Estas actuaciones tienen como objetivo proteger lo máximo posible los núcleos urbanos cuando una avenida circula fuera del cauce establecido, pudiendo afectar a núcleos aguas abajo. Para ello se nivelan infraestructuras lineales, como caminos o carreteras, que sirven como protección al casco urbano.
- Generación de áreas de inundabilidad temporal: Zonas de uso agrícola que permiten amortiguar una avenida expandiendo la zona inundable.

[172] Comisaría de Aguas, Confederación Hidrográfica del Ebro. Prevención, protección, preparación y reparación: medidas para la disminución del riesgo de inundación en el eje del Ebro. Revista Digital del Consorcio de Seguros y Compensaciones.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Las acciones enmarcadas en la estrategia contribuyen también a mejorar el estado del ecosistema ribereño. • Prioriza el uso de medidas basadas en la naturaleza, minimizando el uso de infraestructuras grises.	• Rechazo de la población por falta de comprensión de las medidas que no impliquen la construcción de infraestructuras tradicionales como diques o motas. • Elevadas inversiones iniciales. • Requiere la coordinación de distintos organismos a escala local y de cuenca.

Potenciales barreras para su implementación

El uso de soluciones basadas en la naturaleza puede ser percibido por la población como una medida demasiado débil para hacer frente a la magnitud del riesgo al que están sometidos. Esto requiere de una labor de comunicación importante para dar a conocer el funcionamiento de las medidas llevadas a cabo, y su comportamiento durante una crecida del rio.

Las medidas que implican la modificación de infraestructuras ya existentes requieren una coordinación importante entre los gobiernos municipales y las instituciones a escala de cuenca o región.

Es fundamental definir que actores están involucrados en el mantenimiento de las medidas y destinar partidas presupuestarias para ello desde un inicio.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

La estrategia *Ebro Resilience* no es sólo pionera en nuestro país, sino también a nivel europeo. De hecho, la Comisión Europea concede en 2021 a esta iniciativa una cofinanciación a través del proyecto *LIFE EBRO RESILIENCE* P1.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Este proyecto representa una actuación piloto a nivel europeo, en la que se pretende adaptar dos zonas de la zona media del río Ebro durante 4 años, para poder evaluar los resultados durante los otros 2 años restantes.

Así, se espera que los resultados de este proyecto permitan evaluar la efectividad de la estrategia y de las diferentes soluciones de adaptación al riesgo de inundación que la componen, de tal modo que se pueda priorizar su implantación en otras áreas vulnerables de ésta y otras cuencas.

Resultados esperables

Los resultados esperables del proyecto *Ebro Resilience* son[173]:

- Frenar el incremento del riesgo de inundación.
- Disminución de los daños en infraestructuras, edificaciones y explotaciones agrícolas.
- Reducción de la peligrosidad de las inundaciones en núcleos urbanos a la vez que se mejora la circulación del flujo.
- Aumento del conocimiento de la población con respecto a el riesgo de inundación y las estrategias de protección existentes.
- Mejora de la coordinación entre administraciones.
- Mejora de la capacidad predictiva.

[173] Proyecto Ebro Resilience. 2020. Estrategia general de actuaciones.

- Mejora del estado de las masas de agua.

Costes de instalación

El LIFE EBRO RESILIENCE P1 presupuesta unos 7 M€ para la ejecución de las medidas de adaptación de los dos tramos del rio, el situado entre desembocadura del río Iregua, en Logroño (La Rioja), y La Zaida (Zaragoza), engloba un total de 324 km de cauces y tramos bajos de afluentes, desde la lo que supone un área de influencia con 1.033.000 habitantes[172].

Costes de operación

No se ha encontrado información sobre los costes de mantenimiento a largo plazo de las estrategias planteadas.

Aceptación social

Se espera que la batería de actuaciones para la adaptación del tramo medio del río Ebro tengan una aceptación buena, siempre y cuando se involucre a todos los agentes sociales, como organizaciones de conservación, de agricultores y vecinos, así como de la capacidad del proyecto para comunicar adecuadamente el objetivo de cada actuación.

Destinatarios

- Ayuntamientos
- Organizaciones de agricultores

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Las inundaciones son el fenómeno climático que más pérdidas económicas genera en nuestro país. Además, su intensidad y magnitud están incrementándose debido a los efectos del cambio climático.

Pese a que las inundaciones en el tramo medio del Ebro no suelen suponer vidas humanas, los daños materiales son cuantiosos. Según el Consorcio de Compensación Seguros los costes económicos no relacionados con el sector agrícola derivados de las inundaciones producidas entre 2005 y 2017 en este tramo supusieron 33,4M€[173]. A estas pérdidas hay que sumarle las compensaciones al sector agrícola a través Sistema de Seguros Agrarios Combinados, las subvenciones de los gobiernos locales y regionales para reimpulsar la productividad, y los costes de reparación de infraestructuras llevados a cabo tras cada una de las avenidas.

En este sentido, las inundaciones suponen uno de los riesgos derivado del cambio climático más importantes, que no sólo afecta a nuestras viviendas, infraestructuras y sector productivo, sino también al que tienen que hacer frente los seguros. Por otro lado, es un problema relacionado directamente con el estado de las masas de agua y su conservación. Es por ello, que la reducción del riesgo pasa necesariamente por mejorar la gestión de los recursos hídricos y del medio natural asociado a los cauces, a través de medidas de adaptación basadas en la naturaleza.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Alfaro, La Rioja	Proyecto Ebro Resilience		Son varias las actuaciones en el tramo de la localidad de Alfaro: • Retranqueo de 710 m de mota. • Aumento de la permeabilidad generando cauces alternativos ("Courage") Construcción de un cauce de alivio
Paraje de La Nava, La Rioja	Proyecto Ebro Resilience	2019	Retirada de 1.806 metros de defensa paralela al eje del cauce, para su posterior reconstrucción retranqueada (entre 100 y 300 metros) en una longitud de 1.376 metros, y recuperación de 30ha de espacio de ribera,

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Confederaciones hidrográficas
- Instituciones gubernamentales dedicadas a la gestión de recursos naturales e infraestructuras
- Asociaciones de conservación de la naturaleza
- Institutos de investigación y universidades
- Consorcio de Compensación de Seguros
- Protección Civil y organismos de respuesta en emergencias
- Ayuntamientos

4.3.6 Biodiversidad y patrimonio natural

4.3.6.1 Drones para combatir incendios forestales

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Biodiversidad y patrimonio
- Agua

Tipología de la solución: Tecnología concreta

Solución / Tecnología

Dron con capacidad para colaborar en la extinción de incendios haciendo un mejor uso del agua gracias a su tecnología patentada de nebulización.

Descripción básica

Uno de los efectos más claros del cambio climático es el aumento de incendios forestales, las altas temperaturas combinado con largos períodos de sequía han hecho que estos fenómenos sean más recurrentes en los últimos años.

Por este motivo, el proyecto Wild Hopper, financiado por los fondos H2020 de la Unión Europea, está desarrollando un dron capaz de combatir estos incendios forestales con mayor rapidez, haciendo un uso más preciso del agua y reduciendo los riesgos para las vidas humanas.



Figura 46. Wild Hopper. Fuente: DH.

Esta plataforma puede transportar agua para ser liberada y nebulizada mediante una tecnología patentada. Se trata de un uso más eficiente y preciso del agua que la forma tradicional de dejar caer el agua por gravedad a cierta velocidad. Este dron también puede actuar de noche sin poner en riesgo ninguna vida con una reducción del coste de propiedad de 5 a 10 veces menor que los hidroaviones o helicópteros.

Actualmente ya se están usando drones para evaluar los incendios en sus diferentes fases, ayudando a la toma de decisiones de los equipos de extinción. Se usan también para la búsqueda de supervivientes y para las evaluaciones de daños. El proyecto que aquí se

presenta, va un paso más allá y pretende usar los drones también para combatir los incendios de forma directa[174].

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Precisión de descarga sobre fuegos. • Sistema patentado de nebulización para optimización del agua. • Operable tanto de día como de noche. • No pone en riesgo vidas humanas. • Rapidez de reacción. • Menor coste adquisición y operación que los medios tradicionales.	• Capacidad de carga de 600 litros y necesidad de más de un aparato para hacer trabajo efectivo. • Corto alcance comparado con medios tradicionales. • Tiempo de vuelo menor al de los medios tradicionales.

Potenciales barreras para su implementación

El mayor reto actualmente es demostrar su eficacia en casos reales y capacitar a los agentes competentes para su uso.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 6

El proyecto se encuentra en fase de desarrollo, habiendo patentado ya la tecnología de nebulización del agua y habiéndose realizado pruebas de vuelo.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que en los próximos años se hagan pruebas reales para demostrar su eficacia y eficiencia en la lucha contra los incendios.

Resultados esperables

Se espera un uso más eficiente del agua, así como una mayor precisión en la aplicación de esta en las tareas de extinción de incendios. Al mismo tiempo, se va a reducir el riesgo para la salud humana al tratarse de vehículos aéreos no tripulados.

Costes de instalación

Al tratarse de un proyecto en ejecución, no se dispone de los valores del coste de adquisición de los vehículos no tripulados. A modo orientativo y para ilustrar el coste de desarrollo de esta tecnología, el proyecto Wild Hopper tiene un presupuesto de 3.550.687,50 € de los cuales 2.485.481,25€ han estado financiados por la Unión Europea mediante los fondos H2020 para el período del 1 de noviembre del 2019 al 30 de abril del 2022.[175]

Costes de operación

Al tratarse de un proyecto en ejecución, no se dispone de estos datos. Se puede considerar que estos costes serán los asociados al mantenimiento y desgaste de los vehículos.

Aceptación social

Se espera una alta aceptación social, ya que aporta avances en la lucha contra los incendios al mismo tiempo que reduce el riesgo de accidentes sustancialmente.

[174] Drone Hopper (2020) Video "Drone Hopper Heavy Duty Commercial Drones"

[175] WILD HOPPER – Heavy -Duty UAV for day and night firefighting

Destinatarios

- Administración pública
- Empresas encargadas de la gestión forestal
- Asociaciones de bomberos
- Industrias con operativos internos de protección contra incendios.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Incendios forestales
- Olas de calor
- Estrés térmico
- Escasez de agua

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

El riesgo de incendios aumenta con el cambio climático. A las zonas de alto riesgo, se añadirán otras, tradicionalmente de bajo riesgo, en la que éste aumentará. Entre otras soluciones al problema, se deben implementar nuevos métodos de extinción como el propuesto aquí. Al mismo tiempo, con esta tecnología se pretende hacer un uso más eficiente del agua que se usa para la lucha contra incendios, adaptándonos también en este caso al riesgo climático de escasez de agua.

En este marco, soluciones como las que propone el proyecto *Wild Hopper*, se hacen imprescindibles para adaptarnos a estos cambios.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

El proyecto se encuentra en fase de desarrollo y aún no se ha aplicado en casos reales.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Cuerpo de bomberos de las diferentes comunidades autónomas
- Ministerio de Transición Ecológica y reto demográfico.
- Servicio de Protección de la Naturaleza de la Guardia Civil
- Ejército (Unidad Militar de Emergencia)
- Empresas encargadas de la gestión de masas forestales (p.ej. TRAGSA)

4.3.6.2 Infraestructuras verdes urbanas

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Biodiversidad y patrimonio
- Urbanismo y edificación
- Salud

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Se trata de una solución integral de diseño con un doble objetivo principal: por una parte, favorecer la biodiversidad en las zonas urbanas y por otra utilizarla para mejorar la calidad de vida y adaptarse al cambio climático[176].

Descripción básica

La UE define la infraestructura verde como una "Red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad, diseñada y gestionada para proporcionar la mayor cantidad de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad, tanto en asentamientos rurales como urbanos".

La infraestructura verde es una herramienta integradora de las soluciones basadas en la naturaleza. Su principal objetivo es la protección del capital natural, al tiempo que evita la construcción de costosas infraestructuras en aquellos casos en los que la naturaleza puede aportar soluciones más económicas, duraderas e innovadoras, y generadora de empleo. Es una aproximación novedosa que persigue proporcionar unos servicios ambientales que contribuyan a proteger la salud humana, ahorrar energía, luchar contra el cambio climático, mejorar la calidad del aire y el agua ofreciendo espacios para el ocio y la recreación cómo parques, jardines, plazas, zonas arboladas, parterres urbanos, jardines verticales y jardines botánicos entre otros. Es por todo ello, que el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) cuenta con una *Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas*[177].

La infraestructura verde, como tejido organizativo complejo y completo presente en todos los municipios, implica y relaciona desde la base a diferentes departamentos municipales: urbanismo, medio ambiente, hacienda o parques y jardines.

Estos espacios tienen múltiples beneficios a nivel medioambiental para los entornos urbanos, pero también beneficios sociales. Las infraestructuras verdes urbanas ayudan a mejorar la calidad del aire, reducen el ruido, mitigan las temperaturas extremas en verano y los picos de inundaciones en episodios de lluvias torrenciales. También, son lugares de esparcimiento para los ciudadanos y favorecen la educación, el valor estético y el mantenimiento de las relaciones sociales.

El diseño de infraestructuras verdes en zonas urbanas es una solución basada en la naturaleza que se viene utilizando cada vez más como estrategia para la adaptación al cambio climático. El MITECO ha desarrollado una *Guía metodológica para la identificación de los elementos de infraestructura verde de España* que tiene en cuenta, entre otras cosas, los servicios ecosistémicos que aportan.

Sus principales objetivos son la regeneración de áreas degradadas mediante técnicas de ecodiseño, la puesta en valor de la biodiversidad urbana, la mejora de la conectividad y

[176] Infraestructura verde urbana. Asociación Española de parques y jardines públicos, Federación Española de municipios y provincias y +Biodiversidad.

[177] MITECO (2021) Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas

funcionalidad de diferentes áreas verdes urbanas y periurbanas, la promoción del uso público de los espacios verdes y la mejora de la capacidad de adaptación al cambio climático.

Algunas de las intervenciones más emblemáticas que ya se han llevado a cabo incluyen la rehabilitación urbanística de la Avenida Gasteiz en Vitoria con técnicas de ecodiseño y la creación de una fachada verde en el Palacio de Congresos Europa. La rehabilitación de la Avenida Gasteiz consistió básicamente en la construcción de un corredor fluvial rehabilitado, la plantación de árboles alineados a lo largo del nuevo cauce y la construcción de calles peatonales. La instalación de un jardín vertical en la fachada del Palacio de Congresos Europa compuesto por especies autóctonas ha contribuido a la mejora del aislamiento térmico y acústico del edificio, la reducción de la contaminación atmosférica y la mejora de la calidad estética del entorno.



Figura 47. Ejemplo de infraestructura verde en la fachada del Palacio de Congresos Europa, en la ciudad de Vitoria. Fuente: Basotxerri.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Mitigación y adaptación a los impactos del cambio climático. • Reducción de la peligrosidad de las inundaciones y regulación de los caudales. • Reducción de las necesidades de agua. • Reducción de contaminantes presentes tanto en la atmosfera como en la hidrosfera. • Incremento de la resiliencia de los ecosistemas. • Formación y la educación constituyendo un recurso a modo de laboratorio natural demostrativo que incremente la conciencia ambiental de la sociedad. • Mejora en la salud mental e interacción social de los ciudadanos.	• Riesgo de propagación de especies no nativas. • Aumento de la vida silvestre que puede derivar en daños a infraestructuras y un aumento en los vectores de transmisión de enfermedades.

Potenciales barreras para su implementación

El reto principal para aplicar estas soluciones en las zonas urbanas es el de encontrar y habilitar los espacios para implementar estas infraestructuras verdes. Con una ocupación del terreno tan elevada, se convierte en un reto el conseguir implementar estas medidas.

Para facilitar su implementación, la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), la Asociación de Empresas de Gestión de Infraestructura Verde (ASEJA) y la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP) ponen a disposición de todos los agentes interesados una guía. Se trata de un documento de referencia para elaborar proyectos de diseño e implementación de la infraestructura verde en diferentes poblaciones, que incluye un gran número de ejemplos nacionales e internacionales que, extrapolándolos, pueden ser utilizados para las necesidades particulares de cada lugar[178]. En esta guía, se detallan también las barreras que se pueden encontrar en la implementación de las infraestructuras verdes a la vez que se dan soluciones para cada caso.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 7

Solución implementada localmente, aunque aplicable a otras ciudades.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que en los próximos años las zonas urbanas se conviertan en ejemplos de arquitectura verde, y que ofrezcan a sus habitantes los beneficios que estos espacios proporcionan.

Resultados esperables

La proliferación de espacios verdes mejora la calidad del aire de las ciudades al mismo tiempo que ayuda a infiltrar el agua de escorrentía superficial permitiendo la recarga de los acuíferos subterráneos. La construcción de corredores biológicos no sólo favorece a la biodiversidad urbana, si no que aporta un espacio de recreo para los ciudadanos influyendo positivamente en su salud mental.

Implementando estas, y muchas otras soluciones basadas en la naturaleza, se consigue una mayor calidad de vida para los ciudadanos a la vez que se protege la biodiversidad y se hace frente al cambio climático.

Costes de instalación

Dependiendo de las dimensiones y de la tipología de infraestructura verde que se quiera diseñar, los costes van a variar mucho. A modo de ejemplo, la rehabilitación de la fachada vertical del Palacio de Congresos Europa de Vitoria en la que crecen 33.000 plantas de 70 especies diferentes en una superficie total de 1.492 m^2, de las cuales 1.000 m^2 pertenecen al jardín vertical y 492 m^2 a los parasoles vegetales que cubren los ventanales tuvo un coste de instalación de 387.705€[179].

Por otro lado, el Parque de la Marjal, el primer parque inundable de España que ha recibido premios por su buen funcionamiento y que es referente europeo en su diseño y funcionalidad, tuvo un presupuesto de licitación de 3,67 millones de euros --IVA excluido-- financiado por Aguas de Alicante[180].

Costes de operación

[178] Guía de la infraestructura verde municipal. ASEJA, Federación Española de Municipios y provincias, +Biodiversidad y Asociación Española de parques y jardines públicos.

[179] Ayuntamiento de Victoria-Gasteiz (2014) Acondicionamiento térmico de Fachada norte, sur y oeste del Palacio de Congresos Europa.

[180] Europa Press (2015). Alicante inaugura el parque urbano inundable 'La Marjal', una infraestructura antirriadas.

Los costes de operación vas asociados al mantenimiento de estas infraestructuras tales como la poda, el acondicionado de espacios, la gestión de los residuos, o las tareas de limpieza.

Aceptación social

Este tipo de actuación tiene una aceptación social muy alta ya que aumenta el número de zonas verdes urbanas incrementando la calidad de vida de sus habitantes.

Destinatarios

- Administración pública

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas
- Degradación del suelo
- Estrés térmico
- Estrés hídrico
- Olas de calor y frio
- Cambios en los patrones y tipos de precipitación
- Sequías

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En el ejemplo de la infraestructura verde creada en Vitoria-Gasteiz, así como en la mayoría de las infraestructuras verdes urbanas, los principales retos de adaptación al cambio climático a los que hacen frente son: cambios en el patrón de precipitaciones, aumento de la temperatura, aumento del riesgo de inundaciones, incremento de las olas de calor y frío, estrés hídrico y degradación del suelo. Todos estos efectos se pueden ver amortizados por una buena planificación de las infraestructuras verdes urbanas, haciendo nuestras ciudades mucho más resilientes y mucho menos vulnerables al cambio climático.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Vitoria-Gasteiz	Ayuntamiento de Vitoria	2012	Rehabilitación de la Avenida Gasteiz con técnicas de ecodiseño y la creación de una fachada verde en el Palacio de Congresos Europa.
Madrid	Canal de Isabel II	2019	Construcción de una planta piloto para desarrollar técnicas de drenaje urbanas sostenibles que permitan mejorar la calidad del agua de drenaje en zonas urbanas.
Madrid	Ayuntamiento de Madrid	2020 -2030	El plan de Infraestructura Verde y Biodiversidad de Madrid propone más de 180 acciones concretas, algunas de las cuales ya están en marcha y otras que se irán implementando.[181]
Parque de La Marjal	Ayuntamiento de Alicante	2019	Una infraestructura verde pionera en toda España capaz de recoger hasta 45 millones de litros de aguas pluviales[182].
Barcelona	Ayuntamiento de Barcelona	2020	"Terrats d'en Xifrer" ha convertido azoteas de edificios en jardines y pequeños huertos urbanos que los vecinos pueden disfrutar, mejorando al mismo tiempo la impermeabilidad del edificio y su insonorización y aislamiento térmico.[183]

[181] Comunidad de Madrid. Plan de infraestructura verde y biodiversidad.

[182] SUEZ (2019) Parque de La Marjal, ejemplo de infraestructura verde urbana.

[183] Ayuntamiento de Barcelona. Terrats d'en Xifré

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Asociación de Empresas de Gestión de Infraestructura Verde (ASEJA)
- Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP)
- Asociación Española de Parques y Jardines Públicos (AEPJP)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

4.3.6.3 Medidas de adaptación a la desertificación

(Autores: Nil Álvarez y Carles Ibáñez)

Áreas o sectores donde aplica:

- Biodiversidad y patrimonio
- Agricultura y alimentación
- Agua

Tipología de la solución: Solución basada en la naturaleza

Solución / Tecnología

Proporcionar medidas de adaptación y de gestión para recuperar y mejorar la calidad de los servicios ecosistémicos en áreas degradadas del Mediterráneo.

Descripción básica

Los suelos y los sistemas agroforestales nos proporcionan una gran variedad de servicios ecosistémicos tales como; agua potable, protección contra inundaciones, fijación de carbono, riqueza de biodiversidad, fuentes de alimentación, entre otros. Es, por lo tanto, importante mantener la calidad de dichos servicios desarrollando medidas agroforestales de adaptación, que no sólo los mejoren, sino que también ayuden a recuperar sus funciones en aquellos casos en que se hayan degradado, y que al mismo tiempo ayuden a su adaptación al cambio climático.

En este sentido, la asociación Alvelal lleva a cabo proyectos para luchar contra la desertificación, basando su ámbito de actuación tanto en sistemas naturales como en zonas agrícolas en el área del altiplano estepario de Granada, Almería y Murcia.

A continuación, se enumeran algunos ejemplos de las prácticas que se llevan a cabo en las zonas naturales:

- Transformación de los pinares de reforestación de los años 60 en bosques mediterráneos menos densos, mediante el aclareo selectivo y la plantación de otras especies endémicas.
- Plantación de árboles y arbustos en zonas degradadas, para fijar suelo, fijar carbono y aumentar la biodiversidad.
- Actuaciones para aumentar la captura de agua de lluvia, reduciendo la escorrentía y frenando la erosión: construcción de *swales*[184] o curvas de retención de agua y charcas de captura de agua de lluvia que ayudan a reducir la erosión, al mismo tiempo que acumulan agua en superficie o infiltrada. Estas actuaciones también favorecen el aumento de biodiversidad en especies de insectos, polinizadores, anfibios y aves.
- Selección de especies de árboles y arbustos por parte del equipo de técnicos de Alvelal y las administraciones, para elegir especies de la serie de vegetación correspondiente al ecosistema.
- Plantaciones de cereal entre árboles y arbustos para crear zonas de nidificación para aves esteparias
- Monitorización y seguimiento geolocalizado a lo largo del tiempo, para evaluar los éxitos de los proyectos.

Algunos ejemplos de la gestión que se lleva a cabo en zonas agrícolas son:

- Técnicas regenerativas de suelo: enmiendas orgánicas para el suelo, cubierta vegetal, y cultivo en línea clave, entre otras[185].

[184] Un "swale" es una zanja que se construye paralelamente a las pendientes y que sirve para reducir el riesgo de erosión y favorece la infiltración y la retención del agua en el campo.

[185] Asociación Alvelal (2019) Protocolo de Agricultura Regenerativa.

- Técnicas de captura de agua: swales, charcas de captura de agua de lluvia y albarradas, entre otras.
- Técnicas para el fomento de la biodiversidad tales como la plantación de setos para aumentar la biodiversidad, creación de charcas, combinación de varios cultivos en una finca, entre otras.

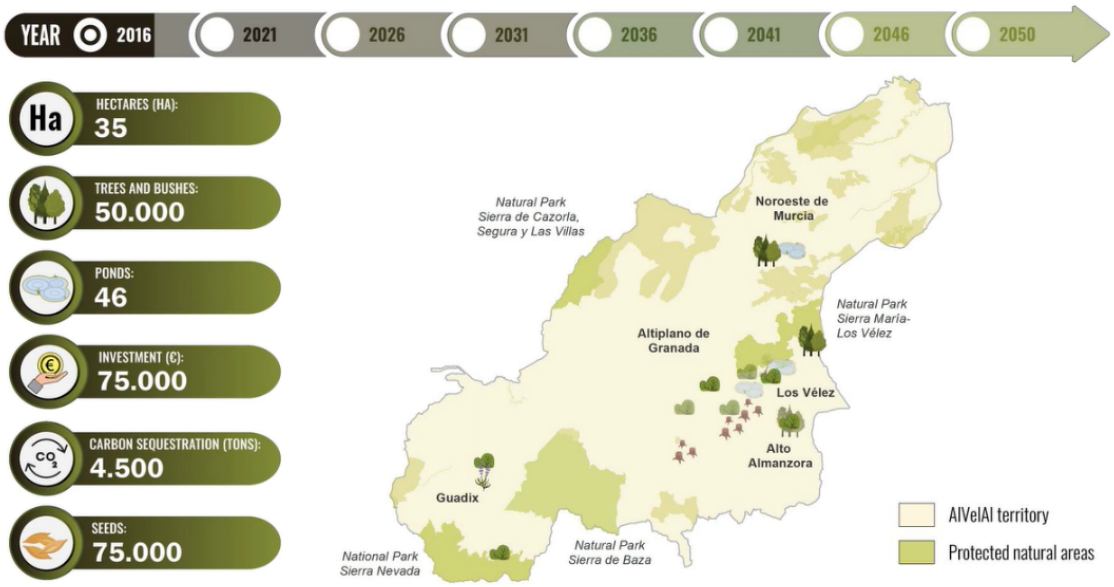


Figura 48. Principales acciones realizadas en su territorio en el año 2016. Fuente: Alvelal.

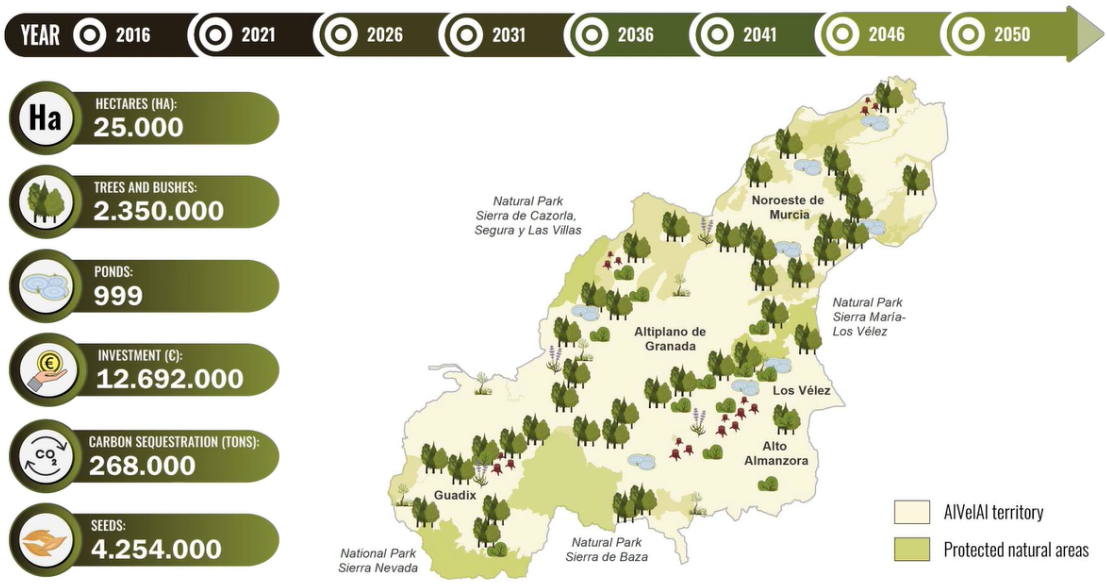


Figura 49. Principales acciones previstas en el territorio para el año 2050. Fuente: Alvelal.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Reducción de la desertificación mediante un uso sostenible del territorio. • Recuperación de servicios ecosistémicos. • Aumento de la biodiversidad. • Aumento de la resiliencia climática. • Gestión integral del territorio.	• Necesidad de un estudio ambiental específico para cada zona. • Riesgo de introducir especies no autóctonas si no se dispone de la información adecuada.

Potenciales barreras para su implementación

La principal barrera para implementar estas medidas es la falta de fondos públicos y la descoordinación de la administración en cuanto a competencias se refiere. Se necesitaría armonizar las actuaciones y coordinar los órganos competentes en cada situación.

Hay también un riesgo asociado a la implementación de medidas para evitar la desertificación. En muchos casos una solución viable al problema pasa por reforestar zonas o sustituir la vegetación actual. En estos casos, si no se hace bajo criterios científicos y con el apoyo de expertos, se podría introducir una especie no autóctona en un ecosistema en el que podría desplazar otras especies.

Nivel de innovación en la actualidad TRL = 7

Las técnicas y medidas de gestión agroforestales para mitigar los efectos de la desertificación son ampliamente conocidos y probados.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Sería deseable que ciertos hábitos de conreo y de gestión forestal que ayudan a frenar la desertificación, como pueden ser las cubiertas vegetales, la rotación de cultivos o el barbecho, entre otras, pasen de ser recomendaciones a ser condiciones legisladas por la Comisión Europea. No obstante, ante la dificultad de imponer dichas prácticas agrarias, es de esperar que aparezcan financiaciones específicos para compensar y discriminar positivamente a quienes las apliquen.

Resultados esperables

Si se aplican medidas correctoras y preventivas, vamos a adaptar nuestros sistemas agroforestales al cambio climático, siendo mucho menos vulnerables a los fenómenos meteorológicos que lleva asociado.

Costes de instalación

Al no tratarse de implementar tecnologías, sino de aplicar buenas prácticas, los costes asociados se derivan de los trabajos de laboreo y de gestión del cultivo. Estas buenas prácticas ayudan a aumentar los beneficios netos de los cultivos, ya que contribuyen a reducir la perdida de suelo fértil, aumentan la cantidad y la calidad de los nutrientes disponibles en el suelo, fijan estructuralmente los suelos y aumentan la disponibilidad hídrica de estos, entre muchos otros beneficios que hacen que estas prácticas sean beneficiales no solo desde un punto de vista ecológico, si no también económico.[186]

Costes de operación

Los costes de operación varían mucho en función de la tipología de la técnica que se quiere implementar, el área que se quiere cubrir y los operarios necesarios para dicha actuación. En cualquier caso, tal y como se comenta anteriormente, estos costes quedan cubiertos por la mejora de los beneficios económicos que aportan dichas técnicas.

Aceptación social

Por la naturaleza de las medidas propuestas, que buscan adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático, va a tener una alta aceptación por parte de la sociedad, que ya reconoce estos como los principales retos a abordar en el futuro inmediato. Habrá que prestar especial atención a los agricultores y ganaderos, los cuales pueden ser reticentes al cambio si no entienden los beneficios que conlleva.

[186] Asociación AlVelAl (2021) Video sobre Agricultura Regenerativa. Retorno del capital financiero.

Destinatarios

- Agricultores y productores
- Ganaderos
- Consejerías de medio ambiente y ayuntamientos
- Asociaciones de agricultores y productores

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Desertificación
- Cambio de temperaturas
- Degradación del suelo
- Estrés térmico
- Incendios forestales
- Erosión del suelo
- Estrés hídrico
- Olas de calor y frio
- Cambios en los patrones y tipos de precipitación
- Sequías

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

En la región mediterránea árida y semiárida, se espera una reducción aproximada del 20% en la disponibilidad de agua para mediados del siglo XXI, medidas cómo las que se proponen aquí, ayudaran a adaptarse y a combatir estos escenarios de escasez de agua, desertificación y pérdida de productividad de los suelos.

Uno de los principales efectos del cambio climático combinado con una mala gestión del suelo; es la desertificación. Este proyecto pretende encontrar mecanismos para combatir este problema, ayudándonos a gestionar los suelos de forma más sostenible y haciéndolos más resilientes al cambio climático.

La adaptación al cambio climático es de particular importancia para la región mediterránea que está experimentando efectos cada vez más negativos, como la sequía y temperaturas extremas, más que en otras áreas de Europa. El proyecto se centra en las medidas de adaptación destinadas a revertir las tendencias actuales de la desertificación y la creación de comunidades locales más resilientes al clima. Además, también abordará la prioridad de la política de mitigación, mediante la restauración de la cubierta vegetal y el contenido de materia orgánica del suelo, lo que repercute en la fijación de CO_2 de la atmósfera.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Almería-Granada-Murcia	Alvelal	2016-presente	La asociación Alvelal desarrolla proyectos para combatir la desertificación. La restauración de El Cortijico en el PN Sierra María-Los Vélez es un ejemplo de las labores que llevan a cabo des de la fundación.[187]
Internacional	FAO	2012-presente	Acción Contra la Desertificación es una iniciativa de los Estados de África, el Caribe y el Pacífico para promover la gestión sostenible de la tierra y restaurar las tierras secas y degradadas de África, el Caribe y el Pacífico. Esta iniciativa está siendo implementada por la FAO y sus colaboradores con financiación de la Unión Europea en el marco del décimo Fondo Europeo de Desarrollo (FED).[188]

[187] Asociación AlVelAL (2021) Restauración en Monte Público El Cortijo, Los Chaveses y El Estrecho.

[188] FAO, Acción contra la desertificación. Ampliación de la Gran Muralla Verde de África.

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Andalucía	Junta de Andalucía	2015-presente	El proyecto *Life Adaptamed* articula medidas de gestión adaptativa para la protección de servicios ecosistémicos en tres espacios naturales protegidos (Cabo de Gata, Doñana y Sierra Nevada) ante un escenario de cambio climático. Entre otras, se han estudiado e implementado medidas de adaptación ante la desertificación.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Dirección General de Agricultura, Ganadería y Alimentación
- Empresas de alimentación
- Asociación Agraria Jóvenes Agricultores de Madrid (ASAJA)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)

4.3.7 Industria y Servicios

4.3.7.1 Digitalización de la cadena de suministro

(Autores: Queralt Plana Puig)

Áreas o sectores donde aplica:

- Industria y servicios
- Alerta temprana
- Transporte y movilidad

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

La digitalización de la cadena de suministro es el resultado de la utilización de tecnología en cada aspecto de esta cadena conduciendo a una mayor transparencia y permitiendo a las empresas minimizar su propio riesgo operativo, así como identificar y remediar eficazmente a los socios en riesgo.

Descripción básica

Una cadena de suministro digitalizada (DSC, en inglés *Digital Supply Chain*), también conocida como la industria 4.0 o industria inteligente, es un conjunto de procesos que integran tecnologías avanzadas y mejores perspectivas de las distintas funciones de cada parte implicada en dicha cadena (Figura **50**). Esto permite que cada participante implicado en la cadena de suministro toma mejores decisiones sobre las fuentes de los materiales necesarios, la demanda de los productos y las relaciones entre ellos.



Figura 50. Esquema de tecnologías digitales de una cadena de suministro digitalizada. Fuente: Drew.

En un primer paso para la digitalización, es necesario hacer una integración completa de la gestión de la cadena de suministro incluyendo una planificación de la demanda, la gestión de activos, la gestión de almacenes, la gestión del transporte y la logística, las adquisiciones, y el cumplimento de pedidos. Además, esto también implica la instrumentación del equipamiento para generar datos de seguimiento de los procesos, así como la extracción de esos datos y su almacenaje.

La instrumentación de la cadena de suministro se realiza con sensores y monitores, conjunto que se conoce como Internet de las Cosas (*IoT*, conocido del inglés como en *Internet of Things*). El conjunto de tecnología se utiliza para monitorear los procesos de fabricación y logística. Y los datos obtenidos se centraliza en una base de datos y se comparte con las partes

implicadas en la cadena de suministro para un seguimiento detallado de la elaboración, transporte y resto de procesos asociados al producto.

La digitalización de las cadenas de suministro también puede contener modelos climáticos donde gestionan y operan las cadenas según las restricciones climáticas y favorecer la mitigación del cambio climático.

Uno de los sectores industriales que más se ha beneficiado de la digitalización de la industria y de las cadenas de suministro es el procesado alimentario. En este sector, los conceptos de la industria 4.0 mejoran la trazabilidad, el monitoreo y el control de la calidad del alimento, además de una mejora en la seguridad, el procesado, y la automoción. También la predicción de la demanda y las preferencias del consumidor, permiten reducir las pérdidas y el despilfarro de los productos procesados. Por ejemplo, en este sector, la digitalización principalmente consiste con la instalación de sensores y la integración de herramientas para la centralización y tratamiento de datos.

En el sector agrícola, la utilización de las tecnologías para la digitalización de este sector se basa en la utilización de drones para el control de los campos basados en visión por ordenador. Otros sectores, como el sector de la automoción, su digitalización consiste en la robotización de algunas etapas del proceso. En el mismo sector, también se está implementando la visión por ordenador como sistema de detección de defectos en el proceso de producción. O, en el sector médico, parte de la digitalización se basa en la utilización de bio-impresoras 3D.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Solución disponible en el mercado. • Conecta y relaciona fuentes de datos mejorando procesos y mantenimiento preventivo. • Eficiencia en la gestión de los recursos de una empresa o actividad. • Visibilidad del ciclo del producto. • Reducción del malbaratamiento de materias primas y productos fabricados.	• Expuesto a ataques informáticos del sistema. • Inversión elevada en infraestructura tecnológica. • Formación y preparación del personal sobre el funcionamiento de las herramientas IoT.

Potenciales barreras para su implementación

De acuerdo con Agrawal et al. (2019)[189] las principales barreras para la digitalización de la cadena de suministro son:

- La transformación digital de una cadena de suministro requiere esfuerzo, recursos y dinero.
- Las empresas necesitan el compromiso y el apoyo de la dirección y los altos responsables.
- Nueva formación y competencias técnicas con el objetivo de aumentar la producción y la eficiencia.
- Cambio en la cultura de la empresa promoviendo la colaboración y la comunicación entre distintos puntos de la cadena de suministro.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Actualmente, el seguimiento más avanzado de los activos de materia prima a medida que se mueven a través de la cadena de suministro permite a las empresas identificar de forma proactiva los activos alternativos disponibles. Además, el seguimiento en tiempo real es útil para las empresas que envían materiales volátiles u otros materiales peligrosos de manera

[189] Agrawal, P., Narain, R., & Ullah, I. (2019). Analysis of barriers in implementation of digital transformation of supply chain using interpretive structural modelling approach. Journal of Modelling in Management, 15(1), 297–317.

que estén en mejores condiciones para tomar medidas adicionales para reducir el riesgo de un derrame o fuga.

Además, se pueden emplear análisis predictivos que incorporen modelos climáticos para pronosticar de antemano tanto las limitaciones de oferta como la demanda futura. Dependiendo de la dinámica futura de la oferta y la demanda, las empresas pueden considerar cambiar la producción por completo.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Actualmente, las herramientas digitales pueden alertar a los productores sobre retrasos en las importaciones y / o exportaciones o la imposibilidad de satisfacer la demanda debido a una disminución anticipada en la producción. A medida que estos sistemas mejoren y comiencen a incorporar modelos climáticos en sus análisis, se volverán más predictivos y permitirán a las empresas desarrollar una mejor resiliencia climática en sus cadenas de suministro[190].

Resultados esperables

La transformación digital ha sido una mayor prioridad en distintas industrias. Específicamente, los resultados esperables de esta transformación son:

- Creación de una ventaja competitiva mejorando los modelos operativos y las operaciones, así mejorando los márgenes de operación y acelerando la venta. A largo plazo, los resultados globales deberían mejorar.
- Obtener una percepción más profunda y elaborada, y mejorar la toma de decisiones basado en los datos extraídos de la cadena de suministro y no en la percepción humana.
- Mejorar la experiencia del cliente. Esto implica una mejor gestión del producto (plazos de entrega, disponibilidad, etc.), y un seguimiento más específico y dedicado del producto en manos del cliente.

Costes de instalación

En este caso, no se ha encontrado ningún valor general del coste de digitalización de una cadena de suministro, ni tampoco ningún ejemplo específico. De todos modos, los costes para la digitalización de la cadena de suministro dependen del sector de la cadena de suministro, del alcance de la transformación en la cadena y de los plazos en que se quiere hacer.

Costes de operación

La digitalización de las cadenas de suministro permite reducir los costes de operación. Boston Consulting Group presenta una reducción de los costes entre el 10-20% aunque sin especificar el tiempo requerido para observarse esta reducción[191].

La reducción de los costes también se puede observar reflejar en la reducción en las pérdidas de producto final reduciendo la disponibilidad del producto en el inventario y optimizando la producción según la demanda.

Aceptación social

Es de esperar que la aceptación social sea alta ya que la tecnología existe en el mercado y la implementación beneficia el suministro y la calidad del producto al cliente, así como el medio ambiente adaptándose el cambio climático. Además, la tecnología facilita la adaptación de otras actividades y /o sectores y no los afecta negativamente.

[190] Marshall K. & Schiavo A. (2020). In the path of destruction: Preparing for climate change in the chemical industry. Lux Research. Publication.

[191] Boston Consulting Group (2021). Digital Supply Chain.

Destinatarios

- Industrias de cualquier sector
- Empresas de servicios

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Variabilidad de temperaturas
- Emisiones a la atmosfera
- Fuertes precipitaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Actualmente, herramientas digitales pueden alertar de los retrasos en importación y/o exportación, o de la imposibilidad de satisfacer la demanda debido a una disminución anticipada de la producción. Con la mejora de estos sistemas y la inclusión de modelos climáticos en el análisis del sistema, favorecen la predicción y permiten a las empresas construir cadenas de suministro climáticamente resilientes.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
EEUU	Dow, M&D	2019	Desarrollo de una herramienta para alertar a los fabricantes interrupciones en la cadena de suministro
Global	BASF, IBM	2021	Herramienta basada en inteligencia artificial y *machine learning* para dar soporte a las decisiones de suministro y reabastecimiento
Global	Walmart	2021	Automatización de almacenes en centros de distribución, y desarrollo de una herramienta *e-commerce* para reducir el tiempo y el costo de envío.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Empresas del sector digital (incluyendo empresas de hardware y de software)
- Empresas del sector robótico
- Organizaciones multinacionales y transnacionales
- Empresas de cualquier sector industrial

4.3.7.2 Tratamiento de efluentes de procesado de frutas y verduras con microalgas

(Autores: Queralt Plana Puig)

Áreas o sectores donde aplica:

- Industria y servicios
- Agua
- Agricultura y alimentación

Tipología de la solución: Tecnología concreta

Solución / Tecnología

La tecnología LIFE ALGAECAN consiste en un tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria del procesamiento de frutas y hortalizas basado en el cultivo de microalgas heterótrofas.

Descripción básica

En el contexto del cambio climático, se requiere implementar la economía circular en las industrias para que sean más sostenibles y así reducir el impacto medioambiental. Europa es el segundo productor mundial de frutas y hortalizas. Y la industria de su procesamiento es uno de los sectores industriales más grande a niveles de producción, crecimiento, consumo y exportación[192].

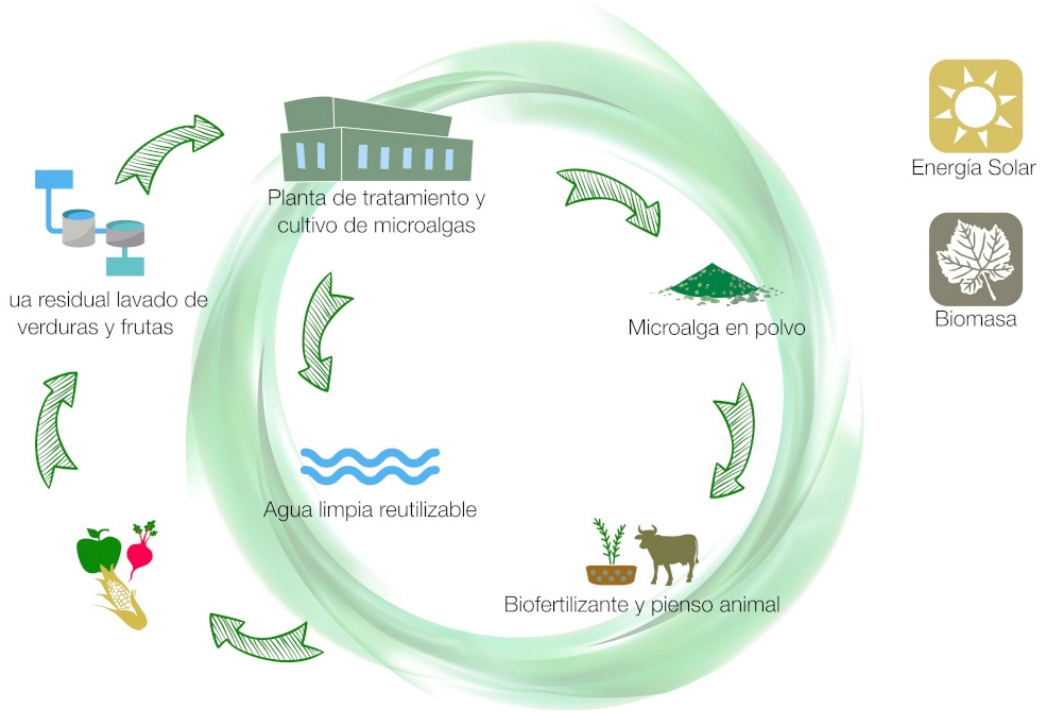


Figura 51. Esquema del flujo circular. Fuente: LIFE ALGAECAN

Desde el proyecto europeo LIFE ALGAECAN se promueve el cumplimiento las principales directivas de la UE referentes al medio ambiente y aplicadas en el sector productor e industrial de frutas y verduras. Además, el proyecto tiene como objetivo demostrar la viabilidad técnica y económica de un concepto innovador para el tratamiento de aguas industriales procedentes

[192] Proyecto LIFE ALGAECAN

de procesados de frutas y hortalizas, proveer un proceso rentable para el tratamiento in situ de corrientes ricas en materia orgánica, nutrientes y sales, implementar el prototipo en dos instalaciones y demostrar un interés comercial de la propuesta tecnológica y del producto obtenido.

En este contexto, desde el proyecto se propone un modelo de tratamiento sostenible y circular de efluentes con cargas elevada y saladas. Concretamente, el prototipo de este sistema tiene tres etapas principales: (1) sistema de cultivo de microalgas, capaz de consumir la materia orgánica y los nutrientes contenidos en el agua; (2) separación por centrifugado para recuperar el agua limpia; y (3) secado por pulverización para recuperar las microalgas secas[193]. El sistema está contenido en dos contenedores desmontables y se alimenta con energía solar y biomasa. Su capacidad de tratamiento es de 2 m^3 de agua residual al día.

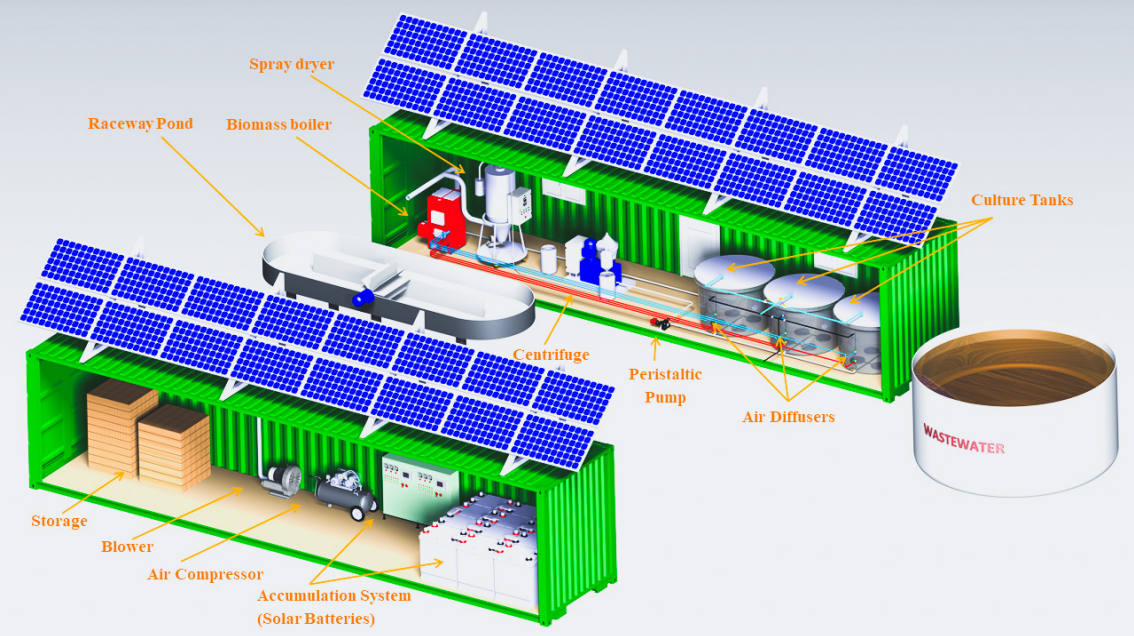


Figura 52. Esquema de la configuración del prototipo. Fuente: LIFE ALGAECAN

Además de la elevada calidad del agua para su reutilización para limpieza o riego, en este proceso también se obtiene un producto comercial utilizado para la producción de biofertilizantes, pienso para animales, bioplásticos, etc. Durante el desarrollo del proyecto, se demostró una producción de 1,5 kg de microalgas por m^3 de agua residual tratada. Producto que se puede utilizar en como fertilizante con un contenido de nutrientes de 6% de N, 2,5% de P_2O_5 i un 1,5 % de K_2O, y como materia prima para la producción de pienso animal con un contenido del 15% de lípidos, un 40% de proteínas, y un 20% de carbohidratos.

Desde un punto de vista tecnológico, es un tratamiento simple y con bajos costes asociados a nivel de operación (tanto desde el punto de vista del proceso como del consumo de energía). Esto permite instalar el prototipo donde se desee.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Solución tecnológicamente sencilla. • Costes de operación reducidos. • Utilización de energías renovables (energía solar y biomasa). • Regeneración de agua de alta calidad para limpieza o riego. • Producción de un subproducto comercial • Sistema modulable de fácil transporte e instalación	• Riesgo de contaminación de las microalgas que afecta su calidad.

[193] L. Garrote, J.M. Martín-Marroquín, DE. Hidalgo. (2020) Microalgas heterótrofas como innovador sistema de tratamiento de aguas residuales del procesado de frutas y verduras. Revista AquaPress.

Ventajas	Desventajas
• Reducción del consumo de agua potable • Reducción del estrés hídrico	

Potenciales barreras para su implementación

La implementación de esta tecnología principalmente viene limitada por el sector industrial donde se ha aplicado (solo en la industria transformadora de frutas y verduras) y también por el nombre reducido de los casos de demostración (dos casos, uno en España y otro en Eslovenia).

A nivel tecnológico, también presenta limitaciones como el riesgo de contaminación de las microalgas que afecta a su calidad, el flujo inestable de aguas residuales, la superación de las preferencias por los fertilizantes químicos o la escala de producción de algas.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

El subproducto de este sistema de tratamiento tiene interés comercial ya que puede servir como materia prima para la producción de biofertilizantes, pienso animal, etc. El efluente se puede usar como agua de riego o para la limpieza de equipos e instalaciones. Por otro lado, al estar alimentado con energías renovables se minimiza la huella de carbono y los costes operativos del proceso.

Avances esperados o deseables en los próximos años

El diseño del prototipo, su implementación, la difusión de los resultados, y la diseminación de buenas prácticas se ha realizado en el transcurso del proyecto (octubre 2017 – diciembre 2020). Tras su finalización se espera que la utilización e instalación de esta tecnología aumente en los años dado los beneficios que conlleva frente al cambio climático y a una economía circular que conlleva.

Resultados esperables

Con este prototipo para tratar aguas residuales procedentes de la industria de procesamiento de frutas y verduras basado con un cultivo de microalgas, se esperan los siguientes resultados[194]:

- Producción de agua de alta calidad, sin patógenos y compuestos xenobióticos. La calidad del efluente permite reutilizar el agua, por ejemplo, para riego y/o limpieza, o verterla a cauce.
- Reducción del impacto ambiental asociado a la generación de residuos de lodo comparado con sistemas convencionales de tratamiento de agua.
- Reducción del coste de tratamiento de aguas industriales procedentes de procesamiento de frutas y vegetales comparado con procesos de tratamiento de aguas convencionales.
- Reducción de las pérdidas de nutrientes asociado a la generación de residuos de lodo
- Obtención de un producto de microalgas que se puede utilizar como fertilizante o como materia prima para la fabricación de piensos animales.
- Reducción del estrés hídrico al poder reutilizar el agua.

Costes de instalación

Los costes de instalación del sistema LIFE ALGAECAN para los distintos casos de aplicación no están publicados por lo tanto se desconocen. En este caso solo se conoce el coste total del proyecto de 1,7 M€ durante los 3 años de duración del proyecto (octubre 2017 – diciembre

[194] Resultados Proyecto Life Algaecan

2020). Aparte de la construcción del prototipo del sistema de tratamiento con algas, estos costes incluyen los ensayos en el laboratorio para su diseño, el desarrollo del prototipo, los ensayos con el piloto, los estudios económicos del mercado, la diseminación y difusión de los resultados, etc.

Costes de operación

En comparación con el coste de operación con una planta convencional de tratamiento de aguas (por ejemplo, un tratamiento biológico de fangos activos), con este sistema se pueden reducir un 80%. Esta reducción podría ser mayor utilizando la radiación solar y/o la biomasa como alternativas energéticas o los ingresos de la venta de subproductos comerciales.

Aceptación social

La aceptación social de esta tecnología se espera que sea elevada. La tecnología presentada, existe en el mercado y ya se ha demostrado su eficiencia y beneficio en dos casos de estudio. Además, esta tecnología es de elevado interés en el sector industrial de procesamiento de frutas y verduras y presenta beneficios sociales más allá de la mitigación del cambio climático.

Destinatarios

- Productores de frutas y verduras.
- Industrias de procesamiento de frutas y verduras.
- Organismos gubernamentales.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Estrés hídrico.
- Sequías.

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

La escasez de agua es uno de los principales problemas derivados del cambio climático a largo plazo en zonas cálidas y áridas. La reutilización de agua en industria implica una mayor autonomía de las plantas de producción, lo que permite una mayor resiliencia con respecto al cambio climático.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Segovia, España	Huercasa	2017	Aplicación del sistema LIFE ALGAECAN en la industria de procesamiento de verduras
Bezje, Eslovenia	Vipi	2017	Aplicación del sistema LIFE ALGAECAN en la industria de procesamiento de frutas

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Empresas de procesamiento de frutas y verduras
- Organizaciones gubernamentales

4.3.7.3 Sistemas circulares de aprovechamiento de agua en los polígonos industriales

(Autores: Queralt Plana Puig)

Áreas o sectores donde aplica:

- Industria y servicios
- Agua
- Urbanismo y edificación

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Sistema de tratamiento de aguas residuales industriales para su recuperación y reutilización en torres de refrigeración, calderas y/o usos desmineralizados.

Descripción básica

Esta solución promueve el aumento de la disponibilidad de agua regenerada, para impulsar la economía circular del agua dentro del sector industrial, y así reducir la demanda de agua convencional tratada en planta potabilizadora y consecuentemente, mitigar los efectos del cambio climático como la escasez hídrica. Además, las aguas residuales no son solo recursos reutilizables, también son fuentes de energía y componentes materiales que se pueden extraer, tratar, almacenar y reutilizar.

El agua industrial se puede recuperar de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) con sistemas de descarga líquida casi nula (NZLD, del inglés *Near Zero Liquid Discharge*) o con plantas depuradoras para la regeneración de aguas (WRP, del inglés *Water Reclamation Plant*). Especialmente, los sistemas NZLD, además de producir agua de alta calidad para reutilizarla, permiten maximizar la producción de esta agua y minimizar el consumo de energía. En la Figura **53**, se presenta el sistema NZLD incluyendo las distintas unidades y ciclo del agua desde la utilización de agua natural a la reutilización pasando por la recuperación de los recursos y reutilización de los recursos, y las etapas de tratamiento.

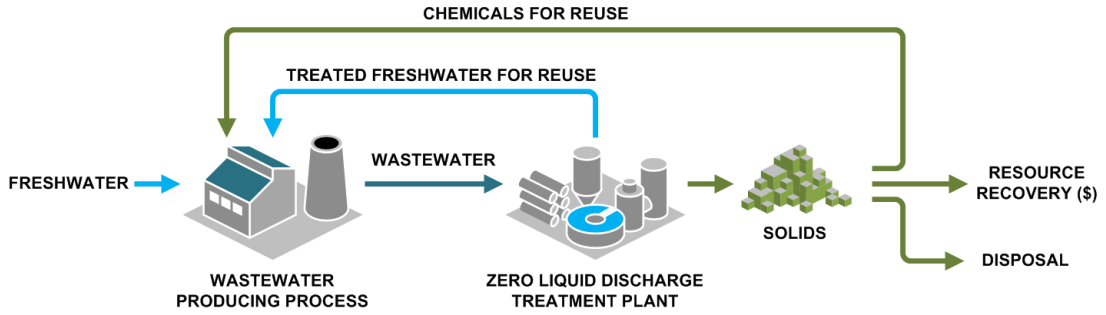


Figura 53. Esquema de un sistema de descarga líquida casi nula. Fuente: Saltsworks.

Por ejemplo, en el Complejo Petroquímico de Tarragona (Cataluña) desde 2012 disponen de una planta depuradora para la regeneración de aguas urbanas para las calderas y torres de refrigeración[195]. Esta planta dispone de una etapa de filtración, otra de osmosis inversa y finalmente una de desinfección con UV e hipoclorito sódico. Con la construcción de una nueva planta depuradora de aguas residuales industriales en este mismo complejo y el objetivo de

[195] Sanz, J., Suescun, J., Molist, J., Rubio, F., Mujeriego, R., & Salgado, B. (2014). Reclaimed water for the Tarragona petrochemical park. Water Science and Technology: Water Supply, 15(2), 308–316.

aumentar la disponibilidad de agua regenerada mejorando su calidad y la recuperación de recursos energéticos y materiales, en el marco del proyecto europeo ULTIMATE se quiere instalar un sistema de tratamiento NZLD que combina la ósmosis inversa avanzada y la destilación por membranas para la recuperación de agua de la EDAR del mismo complejo industrial. A escala piloto, ya se ha demostrado que este sistema es una nueva fuente de agua para este complejo industrial.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Reducción de la extracción y tratamiento de agua proveniente de fuentes naturales. • Reducción del estrés hídrico de la región. • Reducción de costes de producción de agua y energéticos.	• En ocasiones, la tecnología no está disponible en la escala industrial necesaria. • Usos limitados del agua regenerada de acuerdo con el RD1620/2007.

Potenciales barreras para su implementación

Distintos actores [196] [197] y [198] coinciden con las principales barreras para la implementación de una economía circular. Aplicado al caso concreto de sistemas de aprovechamiento de agua industrial, las principales barreras se pueden agrupar en cuatro bloques principales:

- Económicas. El coste de desarrollo y la adopción de tecnologías, y como estos costes se traducen al coste total de los subproductos. Estos costes añadidos frenan a que se consolide la demanda de productos reutilizables frente a productos de un solo uso. Además, se requiere un intensivo en capital y el periodo de retorno es largo. A nivel empresarial puede ser no rentable.
- De mercado. No existe un mercado confiable. Las externalidades no están reflejadas en el previo y se requiere de nuevas infraestructuras públicas para la gestión de los recursos para que la reutilización y aprovechamiento sea eficaz.
- Regulatorias. El marco legal existente no promueve o exige iniciativas de economía circular en el sector del agua.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Los sistemas circulares de aprovechamiento de agua industrial ya existen y se utilizan en el mercado. En este caso, la innovación se basa en la optimización del nuevo sistema de tratamiento NZLD, manteniendo unos costes asequibles minimizando las emisiones.

Avances esperados o deseables en los próximos años

El aumento de la demanda de agua y la disminución de la disponibilidad de agua debido a los efectos del cambio climático pueden afectar a la sostenibilidad de los polígonos industriales, especialmente los situados en zonas donde la escasez del agua es elevada o incluso ya áridas. La puesta en marcha de una planta de regeneración para alimentar únicamente el agua industrial y evitar el consumo de recursos de la producción de agua potable ayudaría a aumentar la seguridad hídrica de las grandes industrias. Al desarrollar una fuente de suministro de agua nueva y disponible localmente, se ha apoyado el crecimiento industrial en una región con escasez de agua, al tiempo que se ha promovido la sostenibilidad de la industria local.

[196] Red vasca de municipios sostenibles (2019). Guía para la promoción de la economía circular desde el ámbito local. Udalsarea 2030. Ed. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.

[197] Xarxa de Ciutats I Pobles cap a la Sostenibilitat (2018). Economía Circular y Verde en el mundo local: Cómo pasar a la acción y herramientas para los entes locales. Diputación de Barcelona y Fundación Fórum Ambiental.

[198] Kuchinow, V. (2020). La infraestructura necesaria para alojar a la industria circular. Economía industrial, ISSN 0422-2784, Nº 416, 2020 (Ejemplar dedicado a: Transición Eco-Industrial), págs. 75-84.

Resultados esperables

Con la escasez hídrica, el crecimiento de la demanda de agua y la oferta de agua convencional limitada, los resultados esperables con la implementación de sistemas circulares para el aprovechamiento del agua residual industrial son:

- Alternativa a la utilización de agua potable de abastecimiento público, así reduciendo la demanda de agua potable por parte del sector industrial.
- Mejora en la eficiencia de los recursos hídricos en una industria.
- Generación de flujos circulares en una misma industria o polígono industrial cerrando los ciclos hídricos, energéticos y de materiales. Y permitiendo un mejor control de ellos en términos de cantidad y calidad de los recursos.
- Reducción de cargas ambientales favoreciendo la protección de la biodiversidad de la región.
- Reducción de la desertización y escasez del agua en la región.

Costes de instalación

Los costes de instalación de un sistema circular para aprovechar el agua residual en zonas industriales dependerán del caudal de agua a regenerar, los procesos a implementar para tratar el agua, y de la calidad de agua que se quiere obtener. También, el coste de instalación depende del fabricante de cada unidad comercial y el convenio acordado con cada consorcio, complejo industrial o empresa. En el caso del sistema piloto NZLD a instalar en el complejo petroquímico en el contexto del proyecto ULTIMATE se desconoce ya que aún está en fase de construcción. Por otro lado, y bajo el mismo concepto NZLD, la empresa SAMCO Technologies que está especializada en el diseño de soluciones de tratamiento de agua industrial, presenta que los costes necesarios para los equipos, la ingeniería, el diseño, la instalación, y la puesta en marcha de una planta NZLD para tratar de 1.000 a 3.000 galones por minuto (entre 0,6 y 2 Mm^3/d) puede costar entre 25 y 50 M$ (es decir, entre 22 y 44 M€ según la conversión de moneda en diciembre de 2021). Para un sistema NZLD con capacidad de tratamiento entre 1 y 20 galones por minuto (entre 6,5 y 130 m^3/d), el coste puede variar entre 250.000 y 2 millones de $ (entre 220.000 y 1,7 millones de €).

Costes de operación

En el mismo ejemplo del Complejo Petroquímico de Tarragona, los costes de producción en 2012 de la planta regeneradora de aguas residuales indicados por las empresas operadoras eran de 0,5 €/m^3 [195]. También, se realizó un estudio económico integrando un proceso de intercambio iónico para la desmineralización del agua y ofrecer agua de mayor calidad a las empresas del complejo industrial. En este caso, los costes de operación subieron a 1,2 €/m^3.

Aceptación social

Es de esperar que la aceptación social sea alta ya que la tecnología existe en el mercado. También, existe demanda por parte de industrias y aporta beneficios en ellas más allá de la adaptación al cambio climático reduciendo el estrés hídrico y la desertización de las regiones donde se encuentran.

Destinatarios

- Industrias de cualquier sector
- Organismos gubernamentales
- Empresas del sector del agua

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Sequías
- Estrés hídrico
- Variabilidad pluvial y/o hidrológica

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Las principales consecuencias del cambio climático son efectos negativos en la disponibilidad del agua y su calidad. La implementación de un sistema circular para el aprovechamiento de aguas residuales industriales no solo reduce el consumo de agua potable sino también reduce el estrés hídrico y evita la desertización o sequías de la región donde se promueve el flujo circular del agua.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Complejo Petroquímico de Tarragona, España	Complejo Petroquímico de Tarragona	2012	Regeneración y consumo de aguas residuales industriales en el mismo complejo petroquímico.
Zona Franca Barcelona, España	Consorcio Barcelona Zona Franca	2018	Desarrollo del proyecto EcoCircularZF para generar simbiosis entre las industrias del consorcio, y gestionar los recursos y residuos eficazmente. Este proyecto incluye la regeneración y aprovechamiento interno de los flujos de agua del polígono industrial.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Empresas de cualquier sector industrial
- Consorcios industriales
- Ayuntamientos y organizaciones gubernamentales
- Empresas que fabrican e instalan sistemas de tratamiento de agua
- Empresas de ingeniería del sector del agua

4.3.8 Energía

4.3.8.1 Sistema "Dynamic Line Rating" para la descongestión de la red eléctrica

(Autores: Carmen M. Torres Costa)

Áreas o sectores donde aplica:

- Energía

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

El sistema DLR (*Dynamic Line Rating*) utiliza la variación continua de la capacidad térmica de una línea de tensión eléctrica, que sufre a causa de las condiciones ambientales y climáticas, con el objetivo de minimizar la congestión de la red. Esto se hace de forma dinámica y en tiempo real, en función de la variación de variables como la temperatura ambiente, la radiación solar, y la velocidad y dirección del viento.

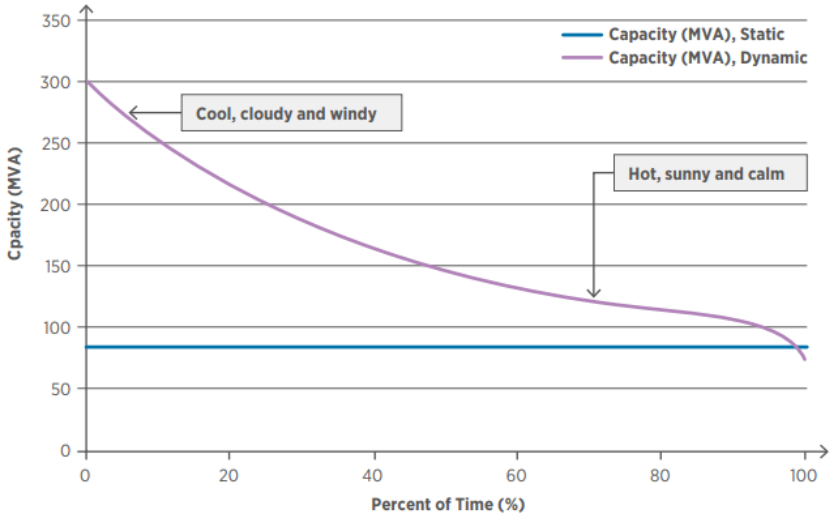


Figura 54. Representación gráfica del comportamiento de la ampacidad[199] con un sistema DLR y SR[200] en función del tiempo. Fuente: IRENA. 2020. Dynamic line rating. In Innovation landscape brief.

Descripción básica

Los efectos directos e indirectos del cambio climático pueden ser catastróficos y requieren rigurosos análisis. Muchos de los componentes de la red eléctrica, tales como los transformadores y las líneas de tensión, son directamente vulnerables a las condiciones meteorológicas[201].

La congestión de la red eléctrica es un problema que comúnmente surge cuando los componentes de la red alcanzan sus límites térmicos debido a los grandes flujos de electricidad, cuando la demanda supera la capacidad de corriente máxima (o ampacidad) de la red.

Tradicionalmente, los sistemas de operación han utilizado las condiciones meteorológicas más desfavorables para calcular la ampacidad de los conductores de transmisión y distribución (los

[199] Ampacidad: corriente máxima, medida en amperios, que un conductor puede transportar continuamente bajo las condiciones de uso normales sin exceder su clasificación de temperatura.

[200] ST: Static Rating, convencional, opuesto a DLR.

[201] Cradden, L. C., & Harrison, G. P. (2013). Adapting overhead lines to climate change: Are dynamic ratings the answer? Energy Policy, 63, 197–206.

cables de la red). No obstante, la ampacidad de un conductor está constantemente cambiando y depende de diversos factores como ya se ha mencionado.

Los sistemas DLR tienen la capacidad de monitorear con sensores la red eléctrica, ofreciendo la posibilidad de estimar la ampacidad de una línea de transmisión en tiempo real mediante la observación de las condiciones meteorológicas del entorno[202].

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Reduce la congestión en la red. • Optimiza la utilización de los recursos activos. • Continuo desarrollo de tecnologías de inteligencia artificial y *big data*, facilitan el uso de DLR. • Aumenta la eficiencia y reduce los costes • Sinergia con fuentes renovables con generación variable (VRE[203]), solar y eólica (facilita su integración en la red, aumentando su rentabilidad).	• Se prevén costes de operación no directos que no han sido evaluados en proyectos existentes. • Es necesaria la optimización de los algoritmos del cálculo de la ampacidad para su implementación a gran escala (redes estatales e intercambio transfronterizos). • Gran cantidad de factores resulta en una gran cantidad de datos a analizar en tiempo real.

Potenciales barreras para su implementación

Las barreras (o requerimientos) para la implementación de los sistemas DLR se clasifican en 2 bloques.

- Tecnológicas: Entre estos requisitos se encuentra la identificación de las líneas, la instalación de sensores, la comunicación, análisis y la validación de los datos. Además, también sería necesario un hardware para los equipos, softwares para los algoritmos y análisis de datos, y protocolos de comunicación.
- Roles y responsabilidades de las partes interesadas: Será necesario, entre otros requisitos, unos canales de comunicación mejorados para la colaboración dente proveedores de datos meteorológicos, propietarios de instalaciones de energías renovables, empresas de suministro de energía o generadores y los operadores de sistemas de transmisión y distribución para mejorar la compresión de los flujos de suministro y demanda de energía.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Actualmente hay algunos países con iniciativas DLR y que ya han implementado algunos proyectos. El proyecto Flexitranstore, en el Programa Marco de Horizon 2020, es un proyecto con demostración en dos emplazamientos, el primero en la red eléctrica de Electro Liubljana, Eslovenia, y el segundo en el noreste de Bulgaria en la línea eléctrica de 220 kV entre Karnobat y Varna.

El proyecto tiene como objetivo demostrar la tecnología de sensores que permite a los operadores de sistemas eléctricos manejar y prevenir de manera efectiva fallos repentinos. Estos fallos a menudo son fatales, especialmente durante condiciones de frio extremo. De esta forma, se pretende aumentar la seguridad y confiabilidad del sistema al reducir los fenómenos de congelación y facilitar los intercambios de energía transfronterizos.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Desde la implementación de la metodología *flow-based market coupling*[204] en 2015 (básicamente, un mecanismo para integrar diferentes mercados eléctricos), en la primera

[202] IRENA. (2020). Dynamic line rating. In Innovation landscape brief.
[203] VRE, de sus siglas en inglés Variable Renewable Energy.
[204] Cross-border electricity exchanges on meshed AC power systems, ETSO, May 2004. Co-ordinated auctioning: a market-based method for transmission capacity allocation in meshed networks, ETSO, April 2001.

región de cálculo de capacidad correspondiente a la zona de Europa Central-Occidental, algunos operadores de sistemas de transmisión incluyen DLR en el cálculo de la capacidad de transmisión entre países. Esto puede aumentar el volumen de electricidad comercializable entre países en el mercado europeo. Entre el 2017-2018, el límite térmico de los conductores se incrementó un 20% en condiciones de frío cuando la demanda eléctrica fue alta. Además, con respecto a esta metodología de integración de mercados europeos, con la *Decisión nº 02/2019 de la Agencia de Cooperación de Reguladores de Energía* (ACER), en la zona de cálculo de capacidad central que incluye a los operadores de transmisión de 13 países de Europa Central-Continental, (denominada CCR "Core") se establece la obligación de sustituir gradualmente los valores límites estacionales por un límite dinámico en la negociación en el mercado intradiario paneuropeo[205].

Resultados esperables

Pequeños cambios en las condiciones climáticas pueden tener un impacto considerable en la ampacidad de una línea de transmisión. Suponiendo una línea de transmisión reforzada con acero conductor de aluminio de 20 millas de largo (32 km aprox.), con una clasificación de línea estática de 787 amperios a 40 ° C, viento cero y un mediodía en verano, los cambios en la ampacidad se pueden ver bajo diversas condiciones climáticas:

Condiciones ambientales[206]	Cambios en la ampacidad
• Temperatura	
2 °C de fluctuación	+/- 2%
10 °C menos	+11%
• Radiación solar	
Cobertura nubosa	+/- en porcentaje
Nocturna	+18%
• Incremento del viento de 1 m/s	
Ángulo de 45º	+35%
Ángulo de 95º	+44%

Hay poca información al respecto sobre los costes de instalación de los proyectos que se han realizado, pero en 2014 se realizó un proyecto de implementación de un sistema DLR en Texas (EE. UU.) financiado por el *US Departament of Energy's Smart Grid Demonstration Program*, el cual abarcó cinco líneas de transmisión de 345 kV y tres de 138 kV, tuvo un coste de 4,833 millones de $.

Costes de operación

No se conocen con precisión todos los costes asociados.

Aceptación social

Es de esperar que la aceptación social sea buena ya que la implementación del sistema DLR no conllevaría ningún cambio sustancial en el sistema de red eléctrica. Desde el punto de vista estético, la instalación de los sensores en las líneas de tensión sería casi imperceptible debido a su reducido tamaño. Además, con este sistema se espera conseguir una reducción en los costes económicos y una ayuda en la integración de energías renovables en el sistema de red eléctrica, la cual cosa cubre un tema muy importante de preocupación general.

Destinatarios

- Red Eléctrica
- Distribuidoras

[205] Una vez acoplados los precios de los mercados diarios, se aborda los mercados intradiarios; necesarios para ajustar las previsiones de producción y de consumo de electricidad de los agentes del mercado eléctrico ante imprevistos, averías, indisponibilidades y la variabilidad de recursos inherente a las energías renovables.

[206] Fuente: IRENA. 2020. Dynamic line rating. In Innovation landscape brief

- Fondos de inversión
- Empresas solares
- Empresas eólicas

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas
- Olas de calor
- Olas de frio
- Variabilidad de la temperatura

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Una de las principales implicaciones del aumento de la temperatura ambiente media en el transporte y la distribución de electricidad es la reducción de la potencia nominal máxima de los equipos y el aumento de la pérdida de energía en el sistema de red debido a una mayor resistencia eléctrica como resultado del aumento de la temperatura[207].

Es probable que los sistemas de clasificación dinámica en tiempo real representen el método de adaptación más rentable para las líneas que suelen tener limitaciones térmicas[208]. No solo sirven como medida para evitar el sobrecalentamiento, sino que también facilitan la transmisión de energía al adaptar la red a un suministro más variable de fuentes renovables.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Alemania	TransnetBW, Tennet TSO, Amprion, 50Herzt Transmission	2015	Implementación de DLR en muchas líneas aéreas muy cargadas, integrando la mayoría de los centros de distribución de los operadores de transmisión alemanes. Se emplearon diferentes enfoques para los pronósticos meteorológicos basados en mediciones locales y regionales, así como en entornos estacionales. La capacidad nominal se elevó hasta un 200%.
Bélgica	Elia	2017	Red eléctrica: Elia implementó DLR, lo que resultó en un *termal rating* (a causa de vientos fríos) de más del 200% del *seasonal rating* en las líneas eléctricas.
Bulgaria	Elektro-Slovenija	2017	Red eléctrica, Eslovenia y línea eléctrica Karnobat-Varna: Uso de tecnología de sensores que permite a los operadores de sistemas eléctricos manejar y prevenir de manera efectiva fallas repentinas, augmentando la seguridad y confiabilidad del sistema al reducir los fenómenos de congelación y facilitar los intercambios de energía transfronterizos.
Francia	RTE	2012-2018	Proyectos piloto Ampacité y Ampacité 2: Optimización de parques eólicos, de los cuales la mayoría están conectados a la red de subtransmisión por debajo de 63 kV y 90 kV.
Spezia-Vignole, Bargi-Calezano, Misterbianco-Melilli y Benevento-Foiano, Italia	Terna	2013	Líneas de transmisión: Implementación de equipamiento DLR en las líneas de transmisión permitiendo mayores cantidades de corriente en condiciones meteorológicas favorables y permitiendo una mayor integración de la energía eléctrica generada en parques eólicos cercanos a las líneas.

[207] Braun, M., & Fournier, E. (2016). Adaptation Case Studies in the Energy Sector - Overcoming Barriers to Adaptation.
[208] Cradden, L. C., & Harrison, G. P. (2013). Adapting overhead lines to climate change: Are dynamic ratings the answer? Energy Policy, 63, 197–206.

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Texas, EEUU	US Departamento of Energy's Smart Grid Demonstration Program	2014	La capacidad en tiempo real de las líneas de 138 kV aumentó en promedio entre un 8–12%, mientras que la línea de 345 kV experimentó un aumento del 6–14%.
Uruguay	UTE	2018	El incremento dinámico de la línea de transmisión ayudó a reducir las restricciones de la energía eólica.

Se pueden consultar más ejemplos y evidencias prácticas de aplicaciones de DLR en diferentes regiones del mundo en el artículo Erdinç, et al. (2020)[209].

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Empresas eléctricas
- Distribuidoras
- Redes estatales
- Ministerios y Departamentos de Energía
- Agencias Estatales (REE)
- Agencias Europeas (ACER)

[209] Erdinç, F.G.; Erdinç, O.; Yumurtacı, R.; Catalão, J.P.S. A Comprehensive Overview of Dynamic Line Rating Combined with Other Flexibility Options from an Operational Point of View. Energies 2020, 13, 6563.

4.3.8.2 *Copernicus Climate Change Service – Energy Sector*

(Autores: Carmen M. Torres Costa)

Áreas o sectores donde aplica:

- Energía
- Industria y servicios

Tipología de la solución: Solución "Tecnología de información" - IT

Solución / Tecnología

Copernicus Climate Change Service – Energy Sector (C3S *Energy*) desarrolla herramientas de visualización climática de última generación, que utilizan datos de entrada calibrados de alta resolución, para visualizar variaciones climáticas y energéticas pasadas y presentes en toda Europa, así como construir escenarios a futuro.

Descripción básica

Las herramientas desarrolladas dentro del proyecto C3S Energy se derivan principalmente del trabajo de dos pruebas de concepto, CLIM4ENERGY (C4E) y *European Climate Energy Mixes* (ECEM), con elementos adicionales del trabajo de otros proyectos. Los demostradores C4E y ECEM se basan en el codiseño de la industria energética con la colaboración de más de 30 consumidores de energía.

El principal objetivo de este tipo de herramientas es proporcionar información clave de los indicadores climáticos relevantes para el sector energético europeo. Esto incluye datos de demanda de electricidad, y de producción de energía eólica, solar e hidroeléctrica[210].

Este tipo de soluciones producen conjuntos de datos de referencia para las variables climáticas. Las variables energéticas (por ejemplo, demanda y generación energética) se generan transformando las variables climáticas utilizando una combinación de modelos estadísticos, datos de base física y datos medidos de oferta y demanda de energía de fuentes como la ENTSO-E (red europea de operadores de sistemas de transmisión), entre otros.

La plataforma proporciona datos para la región europea, de múltiples variables y múltiples escalas de tiempo de los sistemas climáticos y energéticos. El usuario podrá seleccionar una variable climática o energética y un período de tiempo. Sobre la base de estas selecciones de entrada, se genera un mapa que muestra la información seleccionada de manera visual, y además información sobre el clima y la energía (hojas de datos, métodos y suposiciones, mensajes clave, estudios de casos y preguntas frecuentes).

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Enfoque holístico de múltiples variables y perspectivas temporales. • Sinergias con otras plataformas/ tecnologías de inteligencia artificial y *big data.*	• Gran escala, no está clara la capacidad de resolución temporal y geográfica. • La toma de decisiones derivada de su uso precisa de una gran capacidad de análisis de datos. • Enfocado sólo a la variabilidad de fuentes renovables, no a afectaciones en las producciones más estables.

[210] Operational service for the energy sector. Copernicus.eu. Ultima visita: 12 de noviembre de 2021.

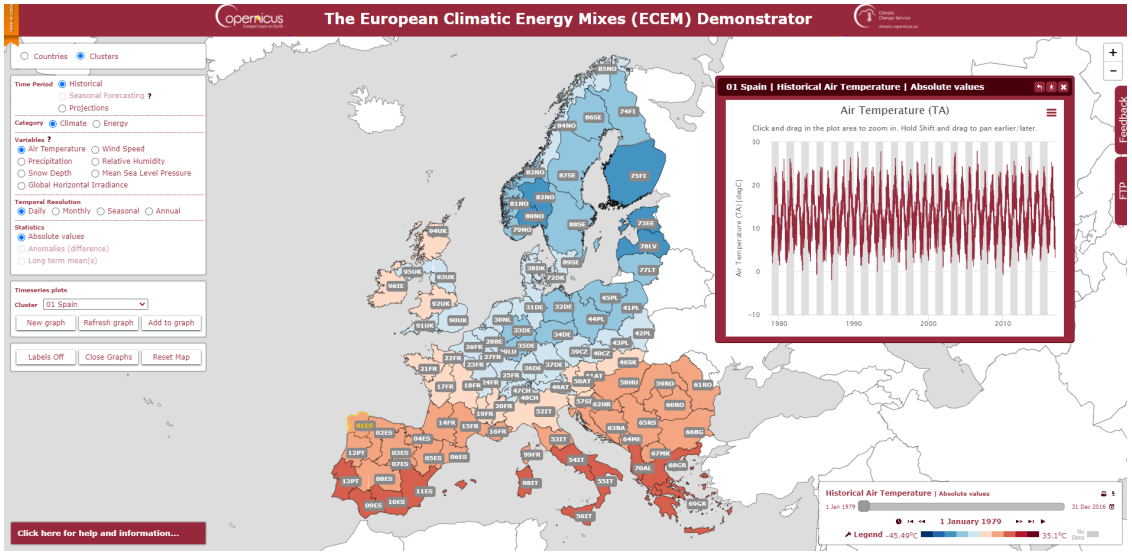


Figura 55. Visualización del mapa por clústeres para la variable temperatura y del detalle histórico diario para el clúster 1 de España (Galicia). Fuente: ECEM.

Potenciales barreras para su implementación

Aunque el servicio *C3S Energy* aún está en desarrollo, no se espera que haya barreras que impidan su implementación. El objetivo final es disponer de una herramienta de visualización de última generación para mostrar las variaciones climáticas y energéticas en toda Europa incorporando los avances de las pruebas de concepto ya desarrollados.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 7)

Los datos cubrirán un rango de períodos de tiempo que permitirá visualizar cambios en cualquiera de las variables desde el pasado, hasta el día de hoy, o en el futuro (predictivo).

La herramienta garantiza que las combinaciones de energía del país reflejen adecuadamente las condiciones climáticas, incluida su variabilidad, y por lo tanto permitirá a los usuarios finales evaluar mejor la combinación de oferta óptima que pueda satisfacer la demanda de la manera más rentable. La herramienta ofrece un enfoque coherente para las variables e indicadores climáticos utilizados en el balance de oferta y demanda de energía, un valor agregado con respecto a la práctica actual en el sector, donde los datos climáticos y los ESCII[211] derivados no siempre son físicamente homogéneos y / o están en equilibrio.

Avances esperados o deseables en los próximos años

El modelo de prueba de concepto de *European Climatic Energy Mixes* (ECEM) se completó con éxito en marzo de 2018. El trabajo desarrollado hasta ahora consistió principalmente en la producción de indicadores climáticos e indicadores energéticos en un histórico de datos. La siguiente fase continuará mejorando las herramientas operativas desarrolladas combinando las demos de ECEM y CLIM4ENERGY[212]. Un componente clave del proyecto C3S Energy será desarrollo de documentación de respaldo para garantizar que los datos proporcionados por estas herramientas tengan trazabilidad, se describan adecuadamente y consideren la incertidumbre asociada y su orientación adecuada al usuario final.

[211] Energy Sector Climate Intensity Index.

[212] CLIM4ENERGY es un portal on-line de visualización (versión beta) con la cooperación 7 centros de investigación climática y 9 profesionales de la energía, que muestra a partir de estudios de casos, la importancia de la cadena de valor entre las variables climáticas esenciales y las variables energéticos.

Resultados esperables

El conjunto de datos históricos permite:

- La investigación de un evento en el contexto del histórico reciente.
- Simulación de resolución de preguntas de tipo "¿Qué pasaría si ...?" Que se evaluarán en función de la combinación del estado energético actual y los factores climáticos.

El análisis de los datos puede ayudar a anticipar riesgos futuros mediante:

- Pronósticos estacionales de energía.
- Proyecciones climáticas.

Costes de instalación

La prueba de concepto C3S ECEM se puso en marcha con un presupuesto de €1,6M[213].

Costes de operación

No ha sido posible encontrar datos al respecto.

Aceptación social

Aceptación alta. Tecnología de la que existe demanda por parte de agentes sociales y/o aporta beneficios sociales más allá de la adaptación al cambio climático.

Destinatarios

- Red Eléctrica
- Distribuidoras eléctricas
- Fondos de inversión
- Empresas de generación eléctrica (solar, eólica e hidráulica)
- Agencias meteorológicas
- Instituciones y agentes cuya toma de decisiones depende de predicciones meteorológicas: alerta temprana en desastres naturales, modelos epidemiológicos, alerta por contaminación atmosférica, etc.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Variabilidad de la temperatura
- Variabilidad pluvial y/o hidrológica

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

La transformación en el sector energético se está produciendo frente a un clima variable y cambiante. Dada la dependencia meteorológica y climática tanto de la energía renovable como de la demanda (incluso en el caso de una gran capacidad de almacenamiento de energía eléctrica), es importante desarrollar herramientas sólidas basada en el clima para asesorar a los planificadores de energía y a los responsables de la formulación de políticas.

Será beneficioso para anticipar cambios importantes impulsados por el clima en el sector energético, ya sea mediante la planificación a largo plazo o mediante actividades operativas a medio plazo. También se puede utilizar para investigar el papel de la temperatura en la

[213] Alberto Troccoli (2016) Climate Service and Technology: a Key Tool of Climate Change Adaptation for the Energy Sector.

demanda de electricidad en Europa, así como su interacción con la variabilidad de la generación de energía renovable.

Casos de estudio de aplicación

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Europa	Copernicus	2009 - 2010	Identificación del contraste espacial entre norte y el sur de Europa en invierno 2009/10: más frio de lo normal en el norte, más cálido de lo normal en el Sur. Los datos históricos proporcionados pueden ayudar a entender como eventos climáticos pasados afectarían hoy al sistema si se repitieran.
España	Copernicus	2003	Impacto de las olas de calor en verano sobre la oferta y demanda en España El análisis de los datos aportados se empleó en examinar los factores climáticos que impulsan los eventos de alta demanda en España. Al mismo tiempo, se exploraron los efectos históricos climáticos sobre el suministro actual de renovables en verano. Además, se investigaron las tendencias en la demanda y el suministro de renovables en condiciones futuras de cambio climático.
Reino Unido	Copernicus	2009 - 2010	Impacto de inviernos extremos sobre sistemas de producción futuros Con el análisis de los datos aportados se exploró la ocurrencia de inviernos como el de 2009/10 en proyecciones climáticas a futuro en Reino Unido. Así se estudió el impacto de inviernos fríos y duraderos bajo diferentes mixes eléctricos usando los escenarios eHighway2050[214]

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- World Energy and Meteorology Council
- University of East Anglia
- Météo-France
- CEA
- ARMINES
- EDF
- The Met Office

[214] El proyecto e-Highway2050 está respaldado por el Séptimo Programa Marco de la UE y tiene como objetivo desarrollar una metodología para respaldar la planificación de la Red de Transmisión Paneuropea, centrándose en 2020 a 2050, para garantizar un suministro seguro de electricidad renovable y la del mercado paneuropeo.

4.3.8.3 Mapa de adaptación energética

(Autores: Carmen M. Torres Costa)

Áreas o sectores donde aplica:

- Energía

Tipología de la solución: Solución "Tecnología de información" - IT

Solución / Tecnología

Una plataforma web colaborativa de seguimiento de casos de estudio y proyectos en el campo de la adaptación al cambio climático en el sector de la energía[215].

Descripción básica

Mapeado de soluciones exitosas de adaptación al cambio climático en el sector energético a nivel internacional, para diseminación e intercambio de información. La visualización permite la búsqueda por tipología: infraestructura, generación, transmisión, final de vida, demanda; y por tipo de tecnología hidroeléctrica, eólica, biocombustible, térmica, nuclear, solar, etc.

El mapa de adaptación energética es el resultado de la colaboración de diferentes entidades, como son: Ouranos, organización sin ánimo de lucro que desarrolla y coordina proyectos de cambio climático y sus impactos; la unidad de adaptación al cambio climático de la división gubernamental *Natural Resources* de Canadá; la plataforma weADAPT, un espacio abierto de intercambio en red sobre temas de adaptación al cambio climático. Aunque su alcance es mundial y se pueden encontrar soluciones con origen en los diferentes continentes, el mayor número de ellas se encuentra en Europa occidental y Norteamérica.

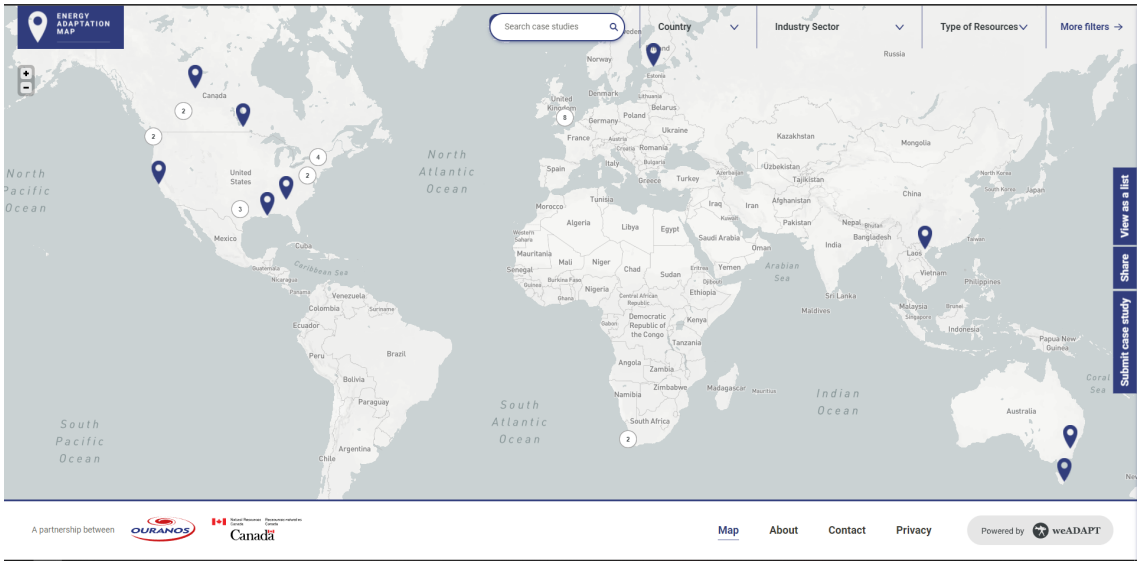


Figura 56. The Energy Adaptation Map[307].

El mapa contiene actualmente más de 30 casos de estudio cubriendo diferentes casuísticas:

- Informativo:
  - Predicción de oferta y demanda, p.ej., *Aumento de la resiliencia de la red con pronósticos meteorológicos especializados.*
  - Servicios climáticos, p.ej., *Evaluación de riesgos de la infraestructura de transporte y distribución de gas en el Reino Unido.*
- Gestión:
  - Exenciones regulatorias y contratos, p.ej., *Respuesta al aumento del estrés por calor en verano para las centrales nucleares.*

[215] *Energy Adaptation Map*

- Gestión de riesgo financiero y seguros, p.ej., *Using Climate Change Risk Assessment Wisely, Estudio de evaluación de riesgos en Irlanda.*
- Diseño y operación, estándares, guías prácticas, herramientas y planificaciones, p.ej., *Construcción de carreteras de hielo*[216] *en condiciones de cambio climático.*
- Tarifas y gestión de la demanda, p.ej., *Reducción de la demanda de energía con estándares de eficiencia.*
- Gobernanza y reorganización, p.ej., *Promoviendo resiliencia a los eventos climáticos extremos en Nueva York.*

- Físico:
  - Nueva generación, porteo y capacidad de transformación, p.ej., *Uso de generadores para hacer funcionar tuberías durante cortes de energía*
  - Protección de equipamiento, mejoras y materiales alternativos, p.ej., *Protección de infraestructuras frente a tormentas en el contexto de cambio climático*

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Ya en funcionamiento. • Representatividad mundial. • Diferentes subsectores representados: puesta en marcha/instalación, generación, demanda, transmisión y distribución, fin de vida.	• Posibilidad de fracaso en seguimiento/participación. • Escasa información en detalle de los casos de estudio no documentados en el informe preparado por Ouranos[217]. • No queda claro la revisión de la calidad y verificación de la información contenida para los casos indicados en el punto anterior.

Potenciales barreras para su implementación

La plataforma web ya se encuentra en funcionamiento. No se esperan barreras o limitaciones para su uso.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Avances esperados o deseables en los próximos años

Alcanzar un mayor reconocimiento como sitio web de referencia para la consulta de casos de aplicación exitosos en el campo de la adaptación al cambio climático en el sector energético.

Resultados esperables

La plataforma aumentará la visibilidad de nuevas e innovadoras acciones de adaptación climática en el sector energético.

Costes de instalación

Bajos. Al tratarse de una plataforma on-line colaborativa, su coste de instalación se compone principalmente de los costes derivados de crear el sitio web.

Costes de operación

Bajos, derivados del mantenimiento del sitio web, gestión y revisión de las visitas y publicidad/divulgación.

[216] Infraestructuras destinadas a la comunicación y transporte terrestre con la particularidad de ser de hielo y nieve a diferencia de las carreteras convencionales. Son accesibles en el periodo invernal y se construyen sobre masas de agua grandes, como lagos, sirviendo para conectar terrenos inaccesibles por tierra.

[217] Adaptation Case Studies in the Energy Sector

Aceptación social

Es de esperar que la aceptación social sea buena.

Destinatarios

Agentes involucrados en la toma de decisiones en cuanto a la puesta en marcha de soluciones que enfrenten la adaptación al cambio climático en el sector de la energía.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

Todos, dependiendo del caso de estudio concreto.

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Permite a los profesionales, investigadores y legisladores acceder a información sobre cómo los actores proactivos en el sector energético responden a los desafíos de los cambios e impactos climáticos presentes y futuros.

Casos reales o pilotos donde se ha aplicado

No se conocen otras webs similares para el registro de proyectos de adaptación al cambio climático específicos para el sector energético.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Ouranos
- WeAdapt
- Natural Resources Canada

4.3.8.4 Intercambiador de calor tierra-aire

(Autores: Carmen M. Torres Costa)

Áreas o sectores donde aplica:

- Energía
- Urbanismo y edificación

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Método de climatización geotérmica de ventilación estival y calentamiento invernal muy utilizado en las casas pasivas[218]. Basado en el principio del Pozo Provenzal o Canadiense[219], se trata de un intercambiador instalado bajo suelo que puede capturar calor desde o/y disipar calor hacia el suelo.

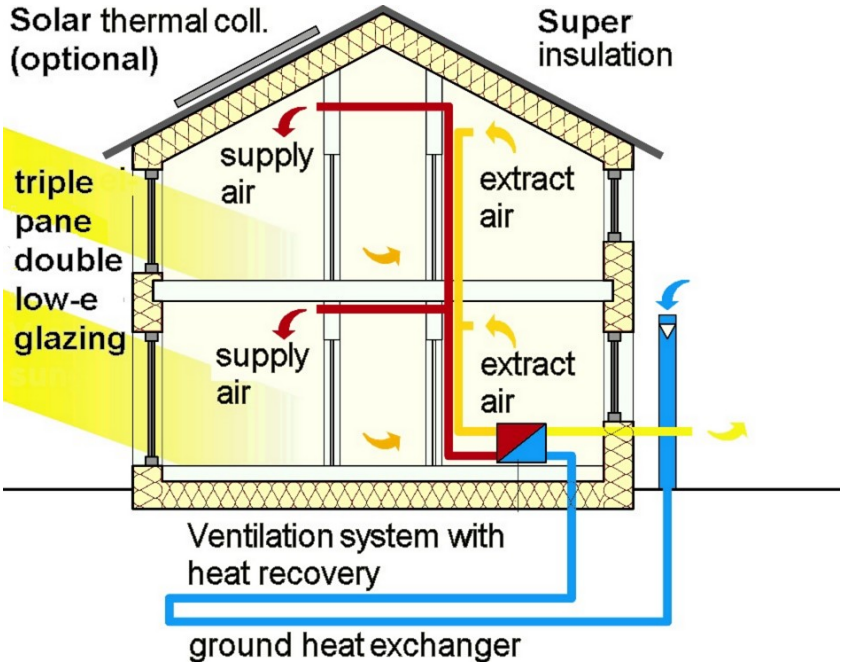


Figura 57. Sistema de ventilación con recuperación de calor con intercambiador de calor tierra -aire. Fuente: Passivhaus Institut.

Descripción básica

El intercambiador de calor tierra-aire sirve para proveer aire fresco en una edificación después de haberlo hecho circular por un conducto subterráneo que, de acuerdo con las condiciones climáticas, lo puede enfriar o calentar utilizando la inercia térmica de la Tierra. Como se observa en la figura ejemplo, el propio aire sirve como conductor térmico mientras que el tubo sirve como intercambiador de calor al mismo tiempo que transporta el aire hasta la construcción.

[218] Este tipo de casas son construidas siguiendo los criterios establecidos en el estándar PassivHaus (casa pasiva en alemán), que mediante estrategias de diseño busca reducir al máximo la demanda energética. Los principios básicos incluyen un aislamiento térmico eficiente, un riguroso control de infiltraciones, y una máxima calidad del aire interior, además de aprovechar la energía del sol para una mejor climatización.

[219] El funcionamiento del Pozo Provenzal o canadiense se basa en el principio físico que rige la variación de temperatura del terreno con la profundidad. A una profundidad aproximada de 2 metros la temperatura se mantiene estable, es decir, no se ve afectada por las condiciones climatológicas de la superficie, de manera que la temperatura del terreno se corresponde con la temperatura media del lugar, es lo que se conoce como inercia térmica del terreno.

Principalmente utilizado como sistema de climatización natural, puede ser empleado en invierno para precalentar el aire entrante o para refrescar aire en verano. Por ello su uso es interesante en localizaciones con condiciones climáticas severas en verano (e invierno, regiones áridas[220]).

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Instalación y diseño sencillos. • Adaptación potencial a diferentes tipos de suelo. • El fluido de trabajo es aire y no requiere energía de apoyo en el caso de suficientes velocidades de viento. • Requiere poco mantenimiento con costes de operación bajos. • Ahorro energético, combinación adaptación/mitigación.	• Coste de instalación elevados. • La condensación dentro del tubo y la proliferación de microorganismos reducen la calidad del aire. • La temperatura de salida del aire no es uniforme. • El rendimiento térmico depende mucho de las condiciones locales presentes en las partes superiores del tubo no enterrado.

Potenciales barreras para su implementación

Un aspecto importante para tener en cuenta en su implementación es la naturaleza pasiva de su funcionamiento y que, por tanto, se deben considerar las condiciones específicas de la ubicación donde se pretende instalar para que su funcionamiento sea efectivo. Su instalación puede ser muy rentable desde el punto de vista de costes de mantenimiento y operación, pero ello depende de la localización, altitud, temperatura de la tierra, relación temperatura-humedad, radiación solar, tipo de suelo, capa freática, y por supuesto la eficiencia del aislamiento del edificio.

Así, no se recomendaría su uso en lugares con lecho rocoso poco profundo y capa freática elevada, o condiciones climáticas de calor húmedo. Sin embargo, es más eficiente su empleo en suelos húmedos que secos. Con respecto a la calidad de aire de ventilación, el uso de estas instalaciones se relaciona con la reducción de la concentración de contaminantes[221]. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en ambientes húmedos la aparición de colonias de moho puede suponer riesgos para la salud, por lo que la humedad debe controlarse con drenajes pasivos (en presencia de capas freáticas suficientemente profundas y suelos permeables) o mediante el apoyo de sistemas deshumidificadores o desecantes.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Teniendo como base una técnica antigua, se ha generado nuevos diseños para una mayor eficiencia, teniendo en cuenta los rendimientos específicos y el aprovechamiento de materiales disponibles localmente.

Avances esperados o deseables en los próximos años

En los últimos años los estudios de diseño avanzan hacia su implementación eficiente en edificios de mayores dimensiones, en la ventilación de invernaderos de producción agrícola y en desarrollo de *water to earth heat exchangers*[222] como alternativa tecnológica. Además, se

[220] Sakhri, N., Menni, Y., Chamkha, A.J., Salmi, M., Ameur, H. (2020). Earth to air heat exchanger and its applications in arid regions - an updated review. TECNICA ITALIANA-Italian Journal of Engineering Science, Vol. 64, No. 1, pp. 83-90.

[221] Use of earth air tunnel HAVC system in minimizing indoor air pollution

[222] T'Joen, Christophe; Liu, Liping; and Paepe, M. De, "Comparison of Earth-Air and Earth-Water Ground Tube Heat Exchangers for Residential Application" (2012). International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1209

desarrollan modelos matemáticos y simuladores de los distintos tipos de configuraciones para optimizar su uso según localización, suelo, condiciones climáticas y diseño arquitectónico[223].

Resultados esperables

En el contexto del cambio climático, el diseño eficiente de los tubos de refrigeración ofrece una alternativa sostenible para reducir o eliminar la necesidad de sistemas de aire acondicionado convencionales basados en compresor, para localizaciones de climas no tropicales. Además, se añade el beneficio de obtener una entrada de aire controlada, filtrada y temperada, lo cual es especialmente interesante en el caso de edificaciones de envolventes convenientemente ajustadas, adecuadamente climatizadas y eficientes.

El rendimiento económico de los intercambiadores tierra-aire es positivo para las aplicaciones de refrigeración ya que en climas templados si el sistema está correctamente diseñado permite prescindir de un sistema de aire acondicionado convencional con un gran ahorro, aunque para ello es imprescindible un aislamiento eficiente. Aunque en climas templados el rendimiento económico se justifica como sistema de refrigeración, también se obtiene una pequeña ayuda en el sistema de calefacción en invierno.

Costes de instalación

En general se describen como elevados debido sobre todo a la fase de excavación. Además, hay que tener en cuenta que depende de la configuración y materiales empleados en función de las características de la edificación a acondicionar. Para un edificio de un piso y un área de 100 metros cuadrados, los costes iniciales incluyendo materiales, dispositivos de control, filtros, ventilador, excavación, instalación y diseño técnico rondarían en la horquilla de los 7.000-13.000€[224].

Costes de operación

En general se describen como bajos, y debidos principalmente al mantenimiento en los casos en los que no es necesario un aporte de energía para la ventilación forzada. El coste de mantenimiento estimado para distintas longitudes de tubería se estima aproximadamente en 120€/año y unos 100€/año de coste de energía para el ventilador si es necesario. Se asume que el sistema produce unos ahorros energéticos anuales de entre 64%[225] y un 12%[226].

Aceptación social

Se trata de una solución tecnológica de climatización geotérmica de especial interés en regiones áridas o semi-áridas (de ahí su consideración como solución de alcance intermedio). Al tratarse de una mejora de una técnica disponible, se considera de aplicación potencial rápida y sin problemas de aceptación social.

Destinatarios

- Constructoras
- Arquitectos
- Diseñadores urbanísticos

[223] S.F. Ahmed, G. Liu, M. Mofijur, A.K. Azad, M.A. Hazrat, Yu-Ming Chu, Physical and hybrid modelling techniques for earth-air heat exchangers in reducing building energy consumption: Performance, applications, progress, and challenges, Solar Energy, Volume 216, 2021.

[224] Mostafaeipour A, Goudarzi H, Khanmohammadi M, et al. Techno- economic analysis and energy performance of a geothermal earth- to- air heat exchanger (EAHE) system in residential buildings: A case study. Energy Sci Eng. 2021;9:1807– 1825.

[225] Pakari, A.; Ghani, S. Energy Savings Resulting from Using a Near-Surface Earth-to-Air Heat Exchanger for Precooling in Hot Desert Climates. Energies 2021, 14, 8044.

[226] Huang, Su, Energy performance evaluation and optimisation of ground source heat pump systems, Doctor of Philosophy thesis, Sustainable Buildings Research Centre, University of Wollongong, 2015

- Particulares

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Variabilidad de la temperatura
- Olas de frío / heladas
- Olas de calor

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Es una técnica en línea con la reducción de estrés climático de especial interés en regiones de climatología con alto contraste de temperaturas como regiones áridas o semi-áridas.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Viviendas, edificios públicos, edificios comerciales/industriales, edificios de producción agrícola, invernaderos

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Madrid, España	Metro de Madrid / Geoter	2011-2021	Edificio uso Terciario: Sede principal de oficinas de Metro de Madrid en Plaza de Castilla; y edificio uso Residencial 56 viviendas, San Sebastián de los Reyes. En ambos la climatización incluye 56 perforaciones de 150 metros de profundidad
Extremadura, España	Universidad Politécnica de Madrid / Universidad del País Vasco	2011	Evaluación de la capacidad de calentamiento y enfriamiento pasivo y su influencia en la reducción de demanda energética en un edificio de oficinas y validación de los métodos de simulación matemática empleados.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Empresas constructoras
- Empresas especializadas en soluciones geotérmicas y aerotérmicas

4.3.9 Transporte y movilidad

4.3.9.1 Vehículo no tripulado para la inspección de infraestructuras de transporte

(Autores: Queralt Plana Puig)

Áreas o sectores donde aplica:

- Transporte y movilidad
- Urbanismo y edificación
- Industria y servicios

Tipología de la solución: Tecnología concreta

Solución / Tecnología

En el marco del proyecto europeo H2020 RESIST, se ha desarrollado un prototipo de vehículo aéreo no tripulado (UAV, del inglés *Unmanned Aerial Vehicle*) para la inspección por contacto visual de estructuras de transporte críticas como los puentes o los túneles.

Descripción básica

Uno de los efectos del cambio climático es el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos que puede causar daños en las infraestructuras y obstaculizar el tráfico, lo que afecta negativamente a la movilidad. El proyecto europeo H2020 RESIST (RESilient transport InfaSTructure) tiene como objetivo aumentar la resiliencia de las operaciones de transporte para evitar interrupciones durante eventos naturales. Pretende proteger a los usuarios de las infraestructuras de transporte europeo, así como proveer información óptima a los operadores y usuarios de las infraestructuras de transporte.

En el contexto de este proyecto se han desarrollado sistemas de monitoreo de infraestructuras de transporte, una plataforma *backend* para el proceso de inspección, y un sistema de integración de toda la información bajo una arquitectura definida también en el contexto del proyecto.

En el contexto de sistemas de monitoreo del estado de las infraestructuras de transporte, se desarrolló un prototipo de sistema robótico aéreo. Este sistema aéreo consta de dos robots: un robot de inspección por contacto y un robot de inspección visual[227].

- El robot de inspección por contacto es el responsable de todas las mediciones que necesitan contacto físico del sensor con la superficie de un puente o túnel (Figura **58**). Este robot incluye sensores ultrasónicos y un sensor radiométrico.
- El segundo robot integra una estación de seguimiento láser y un vehículo aéreo no tripulado (UAV, del inglés Unmanned Aerial Vehicle). El UAV, crea un efecto techo que permite hacer una inspección de contacto con la infraestructura a evaluar.

La estación de seguimiento láser en el suelo mide con precisión la posición de un prisma reflector montado en el UAV para poder estimar la deflexión del puente o del túnel. Además, se encarga de instalar los módulos de sensores de vibraciones permanentes en la superficie de los puentes y túneles.

[227] Sanchez-Cuevas PJ, Ramon-Soria P, Arrue B, Ollero A, Heredia G. Robotic System for Inspection by Contact of Bridge Beams Using UAVs. Sensors. 2019; 19(2):305.



Figura 58. Prototipo de un vehículo aéreo no tripulado para la medición por contacto. El robot de inspección visual tiene por objetivo tomar fotografías de manera autónoma de puentes y túneles con los sensores desarrollados para encontrar y clasificar defectos visuales. Fuente: Jimenez-Cano et al, 2019[227].

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Resiliencia frente a daños debido a condiciones meteorológicas. • Optimización de tareas de mantenimiento preventivo. • Adaptación a los efectos causados por el cambio climático. • Mejora en la fluidez del tráfico frente a una perturbación de la infraestructura.	• El UAV requiere de un sistema de control complejo y dedicado a la fase de contacto. • Sistema poco probado en entornos reales. • Baja eficiencia del sistema aéreo para realizar inspecciones autonómicamente de las vigas del puente.

Potenciales barreras para su implementación

Presenta una alta aplicabilidad, pero aún es necesario hacer la validación del sistema y evaluar los límites de operación comparando los resultados de la inspección del sistema robótico con resultados obtenidos a partir de una campaña experimental clásica.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 7)

Actualmente, este prototipo supera los métodos de inspección existentes principalmente, manuales, menos eficientes y más costosos. Además, se propone un diseño multirotor pequeño y ligero que es capaz de volar cerca del puente a puntos de difícil acceso, y adherirse a él gracias al efecto aerodinámico "de techo". Esto supone una mejora con respecto a otros diseños de robot aéreo articulado cuyos requisitos de carga útil son altos, resultando plataformas grandes y pesadas que son más lentas y complejas de controlar.

Avances esperados o deseables en los próximos años

En la continuación del proyecto RESIST, los avances del prototipo UAV se centrarán al usuario final de la tecnología y en la aplicación de inspecciones[228]. El objetivo de estos avances es

[228] Antonio E. Jimenez-Cano, Pedro Sanchez-Cuevas, Pedro Grau, Anibal Ollero and Guillermo Heredia. Contact-Based Bridge Inspection Multirotors: Design, Modeling, and Control Considering the Ceiling Effect, IEEE Robotics and Automation Letters, October 2019, Vol. 4, No. 4, pp. 3561-3568.

mejorar la aplicabilidad de esta tecnología, aumentar el TRL, y convertir la tecnología una opción comercial competitiva.

Resultados esperables

Con el sistema presentado en el contexto del proyecto RESIST, se esperan resultados positivos para la evaluación de infraestructuras de transporte. Específicamente, los resultados esperables del prototipo son:

- Basándose en la anticipación del estado de las infraestructuras, mejora sustancial de la continuidad de la movilidad de personas y mercancías, incluso en el caso de graves interrupciones debidas a circunstancias naturales o provocadas por el hombre.
- Resistencia a los daños debidos a condiciones meteorológicas extremas, incluida la reducción de las necesidades de mantenimiento y modernización.
- Contribución para lograr intercambios modales confiables que permitan un flujo continuo y fluido de tráfico incluso durante o después de una interrupción.
- Alto nivel de resiliencia de la infraestructura de transporte para desarrollo sostenible y de impacto y adaptación a las condiciones del cambio climático.

Costes de inversión

Tras la inversión inicial para la adquisición del equipo, no se requiere ningún coste de instalación ya que se trata de un sistema robótico manejable y móvil. El proyecto en su totalidad tiene unos costes de 5 M€ durante 36 meses (septiembre 2018 – agosto 2021). Dicho coste, aparte del diseño, desarrollo y construcción del sistema robótico aéreo, incluye el desarrollo de otras herramientas (como por ejemplo un sistema cognitivo de visión por ordenador, sensores ultrasónicos, un sistema fotogramétrico de visión por ordenador, …), la instalación de las soluciones propuestas en dos casos de estudio con infraestructuras reales afectadas por condiciones severas, análisis de riesgo del sistema, la difusión del trabajo realizado, etc.

Costes de operación

Los costes de operación del sistema robótico aéreo se desconocen. Tampoco se conoce el impacto del uso de esta tecnología frente a sistemas convencionales de inspección de infraestructuras de transporte críticas como los túneles y los puentes. Es decir, la ratio entre los costes de operación de los dos sistemas (propuesto vs convencional).

Aceptación social

Es de esperar que la aceptación social sea alta ya que la tecnología ya está diseñada, desarrollada y probada. Además, la implementación beneficia tanto al personal experto que realiza inspecciones de infraestructuras de transporte como a los usuarios de ellas.

Destinatarios

- Empresas de servicios que realizan inspecciones de infraestructuras de transporte críticas.
- Empresas dedicadas al mantenimiento de infraestructuras de transporte.
- Empresas propietarias de infraestructuras de transporte.
- Instituciones gubernamentales.
- Usuarios de las infraestructuras de transporte.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Deslizamiento de tierra
- Inundaciones
- Avalanchas

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Condiciones meteorológicas extremas debido al efecto del cambio climático provocan un deterioro de las infraestructuras de transporte críticas como los túneles o los puentes. Inspecciones regulares y altamente automatizadas permiten hacer un seguimiento detallado del estado de estas infraestructuras, así como reducir deterioros y/o accidentes debido a los efectos meteorológicos, ofreciendo un servicio más continuado y fluido.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Puente de la Cartuja, Sevilla, España	Grupo de Robótica, Visión y Control, Universidad de Sevilla	2018	Validación experimental del sistema robótico aéreo.
Puente Grazalema, Cádiz, España	Grupo de Robótica, Visión y Control, Universidad de Sevilla	2018	Validación experimental del sistema robótico aéreo.
Proyecto piloto 1, puente T9 de la autopista de Egnatia, Grecia	ICCS, Grecia	2018	Para validar la tecnología RESIST se utilizaron simulaciones para evaluar el impacto de diversos eventos extremos tales como fuertes vientos, inundaciones, terremotos, explosiones, etc.
Proyecto piloto 2a, viaducto de Millaures en la autopista A32, Italia	ICCS, Grecia	2018	Para validar la tecnología RESIST se utilizaron simulaciones para evaluar el impacto de los diversos eventos extremos como en el proyecto piloto 1, y para evaluar las soluciones individuales propuestas en cada escenario.
Proyecto piloto 2b, túnel de Santa Petronilla de la autopista A32, Italia	ICCS, Grecia	2018	Para validar la tecnología RESIST se realizó una evaluación y demostración en tiempo real del sistema propuesto, en un entorno donde no esté disponible el GPS.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

Los principales colaboradores del proyecto RESIST son:

- ICCS (Grecia)
- Egnatia Motorway (Grecia)
- Tecnositaf (Italia)
- FEHRL (Bélgica)
- European Dynamics (Luxemburgo)
- CATEC (España)
- US (España)
- CNR (Italia)
- ICS-FORTH (Grecia)
- Goethe University Frankfurt (Alemania)
- TU Graz (Austria)
- BGU (Israel)
- RiSA (Alemania)
- D. Bairaktaris & Associates (Grecia)
- ERRA (Grecia)
- Sphynx Technology Solutions (Suiza)
- LSystems (Bélgica)

Y como colaboradores terceros están NETIVEI ISRAEL (Israel) y Realaiz (Serbia).

4.3.9.2 Desarrollo de un sistema de soporte a la decisión para incrementar la resiliencia de infraestructuras de transporte por carretera

(Autores: Queralt Plana Puig)

Áreas o sectores donde aplica:

- Transporte y movilidad

Tipología de la solución: Tecnología concreta

Solución / Tecnología

Herramienta que combina la tecnología multisensor con modelos climáticos para aumentar la resiliencia y la gestión de carreteras u otras infraestructuras de transporte.

Descripción básica

El proyecto europeo H2020 PANOPTIS quiere incrementar la resiliencia, es decir, la capacidad de adaptación de las carreteras y otras infraestructuras de transporte a condiciones climatológicas desfavorables producidas por el cambio climático, como fenómenos meteorológicos extremos, inundaciones, avalanchas, desprendimiento de taludes o terremotos. En la Figura **59** se presenta un ejemplo de un sistema de control del estado de la carretera mediante un sistema de etiquetas inteligentes, estaciones de medida del microclima de la región y componentes de monitorización de la infraestructura de carretera.

En el contexto de este proyecto se ha desarrollado un sistema de soporte a las decisiones (DSS en sus siglas en inglés) que integra un amplio conjunto de funcionalidades para ayudar a los gestores de infraestructuras a tomar decisiones operacionales y estratégicas. Decisiones referentes a como asumir los daños derivados de un fenómeno extremo y la posterior recuperación[229]. En este contexto, se combinan escenarios de cambio climático regionalizados con herramientas de simulación y datos reales, para mejorar la gestión de infraestructuras en las fases de planificación, mantenimiento y operación.

Específicamente, la herramienta PANOPTIS DSS integra las siguientes tecnologías:

1. Modelos climáticos, atmosféricos y multirriesgo para la cuantificación de los diferentes tipos de estrés climáticos, hidrológicos y atmosféricos en infraestructuras de transporte (especialmente focalizados en carreteras).
2. Red de micro estaciones meteorológicas y sensores puntuales "*smart tags*" para la monitorización continua del cambio de condiciones climatológicas y otros parámetros como la temperatura, la humedad del aire y del suelo, vibraciones, etc.
3. Modelos y herramientas de predicción meteorológica de alta resolución y a largo, medio, corto y muy corto plazo (*fore* y *now casting*) para la evaluación exacta del impacto de los eventos meteorológicos en las infraestructuras de transporte. Herramienta de simulación geotécnica y estructural.
4. Simulador geotécnico-estructural (SGSA, del inglés *Geotechnical and Structural Simulation Tool*) para la evaluación de la vulnerabilidad de elementos geotécnicos y estructurales específicos en la red de carreteras.

[229] Proyecto PANOPTIS

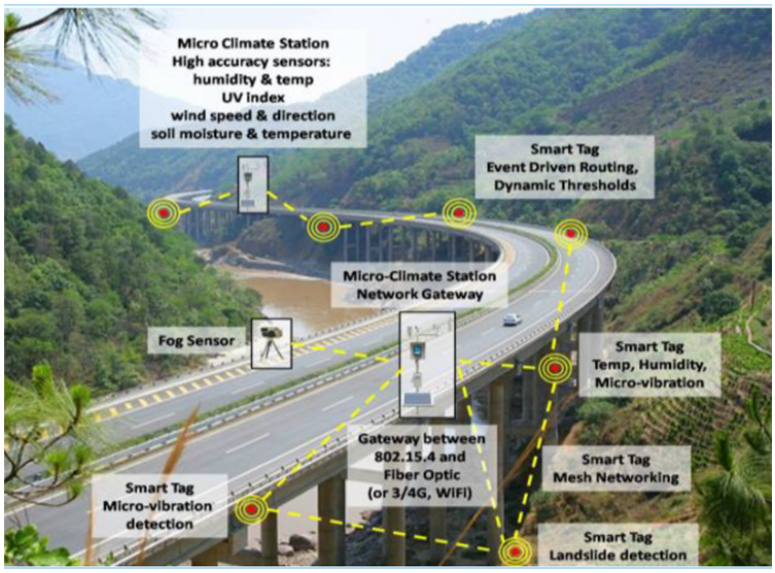


Figura 59. Ejemplo de una red de etiquetas eficientes, estaciones de microclima y componentes de la infraestructura de carretera conectados. Fuente: Proyecto PANOPTIS

5. Módulos de análisis de vulnerabilidad en escenarios multirriesgo (MHVM, del inglés *Multi-Hazard Vulnerability Modules)* combinando los efectos de envejecimiento de la infraestructura con los de su exposición a diversos peligros naturales o inducidos por el hombre.
6. Mapas de daños. Utilización de mapas de daños generados después de una catástrofe (inundaciones, incendios, …) a través del servicio de emergencia de *Copernicus EMS* y basados en imágenes satélite de alta resolución. Estos mapas permiten hacer un análisis general, rápido y sinóptico de un área geográfica amplia, e identificar daños extensivos.
7. Combinación de datos multisensor con análisis multiespectral, técnicas de visión por computador (en inglés, *computer visión*) y aprendizaje automático (en inglés, *machine learning*) para diagnóstico de daños en múltiples infraestructuras.
8. Técnicas de mapeado móvil utilizando drones para la detección y evaluación de defectos y daños tanto en operaciones de mantenimiento rutinario de carreteras como para la gestión de situaciones de crisis
9. Plataforma de evaluación holística de resiliencia (HRAP, del inglés *Holistic Resilience Assessment Platform*). Esta plataforma permite evaluar la resiliencia global de todas las infraestructuras de la carretera a tiempo real.
10. Integración de todas las herramientas en una plataforma que contiene un sistema de imagen operacional común (COP, del inglés *Common Operational Picture*), un sistema de gestión de incidentes (IMS, del inglés *Incident Management System*) y una herramienta de toma de decisiones (DSS).

Potencial de implementación

Ventajas
• Reducir la necesidad llevar a cabo tareas de mantenimiento urgentes. • Resiliencia frente a daños debido a condiciones meteorológicas extremas. • Optimización de la gestión de las infraestructuras. • Adaptación a las consecuencias del cambio climático.

Potenciales barreras para su implementación

La solución presentada permite una alta aplicabilidad en distintas situaciones e infraestructuras de transporte. La herramienta PANOPTIS DSS no tiene consecuencias negativas directas sobre las infraestructuras de transporte ya que es una plataforma digital de ayuda a la toma de

decisiones. Pero las decisiones tomadas en base a la plataforma sí pueden afectar negativamente a las infraestructuras.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 7)

El proyecto PANOPTIS comenzó en junio de 2018. Durante los dos primeros años, se diseñó la plataforma y se prepararon todas las tecnologías que integran la herramienta PANOPTIS. Durante la segunda fase del proyecto, a partir de verano de 2020, ACCIONA Ingeniería comenzó a implantar todas las tecnologías y metodologías desarrolladas en el tramo 2 de la autovía A-2, de 77,5 km, a su paso por la provincia de Guadalajara.

Avances esperados o deseables en los próximos años

En la actualidad, todas las herramientas utilizadas en el proyecto están listas para su uso. Se espera que el siguiente paso sea integrar las herramientas en una plataforma común con una interfaz gráfica, para facilitar su uso a gestores de infraestructuras.

Resultados esperables

Con el sistema del proyecto PANOPTIS se esperan resultados positivos que mejoren la resiliencia de las infraestructuras de transporte y aseguraren la disponibilidad de la red de transporte de manera fiable frente a condiciones desfavorables.

Los resultados esperables de su uso son:

- Mejora sustancial de la movilidad de personas y mercancías, incluso en caso de perturbaciones graves debidas a circunstancias naturales o antropogénicas.
- Aumenta la resistencia de los componentes de las infraestructuras a los daños causados por condiciones climáticas extremas, incluida la reducción de las necesidades de mantenimiento y reacondicionamiento.
- Proporciona resiliencia a la infraestructura de transporte.

Costes de instalación

Se desconocen los costes de la instalación de los sensores para la obtención de datos *in situ* de las infraestructuras monitoreadas, solo se conoce el financiamiento global del proyecto. En este caso, es de 5 M€ aproximadamente durante 40 meses (junio 2018 – noviembre 2021). Este presupuesto se dedicó al diseño de la plataforma de integración, la modelización atmosférica, la obtención y el procesado de datos, la evaluación de la vulnerabilidad y la resiliencia de las infraestructuras estudiadas, los servicios geoespaciales, la integración de las herramientas y el desarrollo de la interfaz gráfica para los usuarios de la herramienta.

Costes de operación

Los costes de utilización de la plataforma, con la integración de las herramientas presentadas, se desconocen, pero se espera obtener ahorros significativos optimizando las actuaciones de mantenimiento y alargando el ciclo de vida de las infraestructuras.

Aceptación social

Es de esperar que la aceptación social sea alta ya que la implementación beneficia tanto al personal experto responsable de la gestión de infraestructuras de transporte, como a los usuarios de ellas.

Destinatarios

- Empresas de servicios que realizan inspecciones de infraestructuras de transporte críticas.
- Agentes o empresas dedicadas a la elaboración y mantenimiento de carreteras, puentes y túneles.

- Empresas propietarias de infraestructuras de transporte.
- Instituciones gubernamentales.
- Usuarios de las infraestructuras de transporte.
- Dirección General de Carreteras.
- Fondos de inversión.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Deslizamiento de tierra
- Inundaciones
- Fuertes precipitaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Las condiciones meteorológicas extremas provocadas por los efectos del cambio climático pueden provocar un deterioro de las infraestructuras de transporte. El Proyecto PANOPTIS busca incrementar la resiliencia de las carreteras frente a condiciones climatológicas desfavorables, tales como fenómenos meteorológicos extremos o inundaciones, que puedan entre otras cosas desestabilizar los taludes.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Autovía A2 (conecta Barcelona y Madrid), España	ACCIONA	2020	Implementación de las tecnologías y métodos integrados en PANOPTIS
Autovía con destino al aeropuerto de Thessaloniki, Grecia	Egnatia Odos	2020	Implementación de las tecnologías y métodos integrados en PANOPTIS

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

Los principales colaboradores del proyecto PANOPTIS son:

- AIRBUS (Francia)
- NTUA (Grecia)
- Acciona (España)
- Egnatia Motorway (Grecia)
- Future Intelligence LTD (Reino Unido)
- Universidad de Twente (Países Bajos)
- Hyds (España)
- IFSTTAR (Francia)
- FMI (Finlandia)
- AUTH (Grecia)
- SOFiSTiK (Grecia)
- CORTE (Bélgica)
- C4Controls (Reino Unido)

4.3.10 Sistema financiero y actividad aseguradora

4.3.10.1 Valoración integrada de servicios ambientales y cálculo de compensaciones

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Finanzas y aseguradoras
- Urbanismo y edificación

Tipología de la solución: Solución "Tecnología de información" - IT

Solución / Tecnología

Software para la estimación del valor económico de las funciones y servicios ambientales, consistente en dar un valor económico al capital natural, es decir a los elementos bióticos y abióticos que contribuyen a proveer dichos servicios ambientales.

Descripción básica

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005) define servicios ambientales o servicios ecosistémicos como "los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas" y se pueden clasificar en cuatro categorías[230]:

- Servicios de apoyo. Son aquellos que proporcionan la infraestructura básica para el sustento de la vida (captación de energía del sol, la formación de los suelos y el ciclo del agua y nutrientes)
- Servicios de regulación. Son aquellos que gestionan el clima, la contaminación y los riesgos naturales como las enfermedades.
- Servicios de aprovisionamiento. Son aquellos que proporcionan los productos de los que depende la vida (alimentos, agua, energía y materiales).
- Servicios culturales. Se refieren a la provisión de paisajes o elementos que un significado para la humanidad (religiosos, espiritual o simplemente atractivo o estético)

La valoración de servicios ambientales es fundamental para diseñar proyectos de infraestructuras urbanas, diseñar herramientas legislativas, calcular compensaciones y priorizar actuaciones. También se puede usar para estudiar las tendencias e interacciones de sistemas complejos, lo que permite por ejemplo estudiar los efectos del cambio climático y posibles medidas de adaptación ayudando a priorizar inversiones. Y finalmente, son una herramienta de comunicación y aprendizaje, que nos ayuda a poner en contexto y comparar sectores muy diferentes bajo un mismo prisma.

Uno de los softwares más novedosos para mapear los beneficios de la naturaleza en ciudades es InVEST[231].

[230] European Academies Science Advisory Council (EASAC). (2009). Ecosystem Services and Biodiversity in Europe. In Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik (Vol. 14, Issue 1).

[231] Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D., and Douglass, J. 2018. InVEST 3.7.0.post22+ug.h3b687e57fad0 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

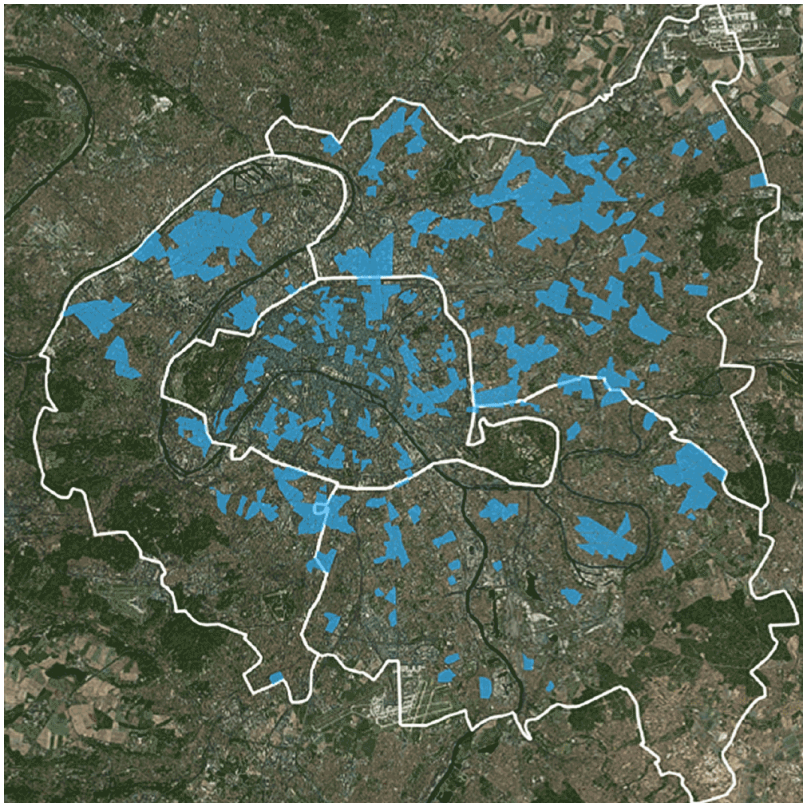


Figura 60. Mapa de Paris de las áreas con bajo área de zonas verdes y bajo nivel de ingresos, en las que el software InVEST identifica que aumentar la cobertura de espacios verdes tendrá un impacto positivo reduciendo la desigualdad. Fuente: Standford.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Software de licencia libre. • InVEST considera un amplio número de servicios ambientales • InVEST tiene un equipo encargado de mantener el software y una comunidad de usuarios asociada	• Puede requerir de conocimiento específicos para correr los modelos • Necesita de un equipo interdisciplinar de expertos • Desconfianza y falta de conocimiento sobre las soluciones basadas en la naturaleza

Potenciales barreras para su implementación

Este tipo de herramientas están enfocadas para facilitar la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, ya que permiten cuantificar beneficios sobre la sociedad a diferentes niveles. Sin embargo, este tipo de soluciones son percibidas todavía por ciertos sectores como poco fiables, insuficientes o poco tangibles. Esta percepción puede ser una barrera para la implementación de este tipo de análisis. Por otro lado, la aplicación de esta herramienta requiere de información y datos de múltiples sectores, lo que implica la disponibilidad de un equipo multidisciplinar capaz de recopilar e integrar la información para poder usar el modelo adecuadamente.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Hay muchos softwares para la evaluación y cuantificación de servicios ambientales como por ejemplo *i-Tree, ARIES*, *Costing Nature, and SolVES*. Sin embargo, en contraposición estas herramientas, InVEST puede integrar a la vez un gran número de servicios ambientales urbanos, se ha testado con éxito ya en diferentes ciudades del mundo y ha informado de un

sinfín de contextos urbanos diferentes (p.ej. planificación para prevención de inundaciones, adaptación climática, conservación de la biodiversidad y salud pública)[232].

Por otro lado, pese a que a nivel de investigación son varias las herramientas y casos en los que se ha aplicado este tipo de análisis, no es una práctica extendida a nivel de planificación y toma de decisiones, por lo que su uso sigue siendo innovador.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que el uso de estas herramientas se popularice a todas las escalas de planeamiento y toma de decisiones. Especialmente en proyectos de adaptación al cambio climático, donde la interacción entre múltiples sectores y soluciones es compleja de prever.

Resultados esperables

El principal resultado de este tipo de análisis es una mayor eficiencia en la asignación de inversiones, ya que evita destinar inversiones a actuaciones inútiles o no adecuadas para el problema que se pretende atajar. Por otro lado, nos permite comparar actuaciones más sutiles basadas en la naturaleza (difíciles de cuantificar), con proyectos de infraestructuras tradicionales, que suelen ser percibidos como más tangibles y fáciles de cuantificar y, por tanto, de promocionar o defender.

Costes de instalación

Se trata de un software de licencia libre, por lo que no tienen ningún coste de instalación. Por tanto, los costes asociados a su utilización son las horas de personal cualificado, encargado de recopilar toda la información y procesarla, para poder correr los modelos e interpretar y presentar adecuadamente los resultados. Especialmente costosa puede ser la recopilación de toda la información necesaria.

Costes de operación

El software tiene detrás un equipo dedicado al mantenimiento del software, además de una comunidad de usuarios que confiere un potencial de crecimiento y de robustez a largo plazo. Esto implica que los costes de mantenimiento se reducen, gracias al soporte dado por la iniciativa.

Aceptación social

Es esperable que este tipo de herramientas tengan una aceptación alta. Son pocos los sectores que estén en contra del uso de un enfoque de cuantificación económica de los servicios ambientales. En principio se recomienda utilizar esta herramienta como orientación y siempre evaluar los resultados más allá de las implicaciones económicas para evitar confrontación en proyectos o situaciones sensibles para la sociedad.

Destinatarios

- Agencias gubernamentales encargadas del desarrollo de infraestructuras urbanas a todas las escalas: estatal, regional y local.
- Organizaciones encargadas de la administración de territorios con múltiples usos
- Organizaciones de conservación de la naturaleza.
- Empresas de construcción y diseño de infraestructuras que impliquen un impacto sobre el medio ambiente.
- Consultoras ambientales.

[232] Hamel, P., Guerry, A. D., Polasky, S., Han, B., Douglass, J. A., Hamann, M., Janke, B., Kuiper, J. J., Levrel, H., Liu, H., Lonsdorf, E., McDonald, R. I., Nootenboom, C., Ouyang, Z., Remme, R. P., Sharp, R. P., Tardieu, L., Viguié, V., Xu, D., … Daily, G. C. (2021). Mapping the benefits of nature in cities with the InVEST software. Npj Urban Sustainability, 1(1).

- Compañías energéticas.

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Cambio de temperaturas
- Estrés térmico
- Variabilidad de la temperatura
- Olas de calor
- Olas de frío / heladas
- Incendios forestales
- Cambios en los patrones de viento
- Ciclones, huracanes y tifones
- Tormentas, incluyendo ventiscas, tormentas de polvo y arena
- Tornados
- Cambios en los patrones y tipos de precipitación (lluvia, granizo, nieve)
- Variabilidad pluvial y/o hidrológica
- Intrusión salina
- Aumento del nivel del mar
- Estrés hídrico
- Sequías
- Fuertes precipitaciones
- Inundaciones
- Aumento de las enfermedades transmitidas por vectores

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

El cambio climático afecta a múltiples aspectos de nuestra vida y del medio donde vivimos. Analizar de forma integrada todos estos aspectos y sus interacciones es fundamental para poder tomar medidas de adaptación adecuadas y mesuradas a las problemáticas de cada sitio.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Shenzhen, China	Socios del Natural Capital Project	2021	Para informar sobre la planificación urbana, el gobierno de la ciudad de Shenzhen ha adoptado el uso del Producto Ecosistémico Bruto (PEB), que calcula el valor monetario de la contribución de los ecosistemas a la sociedad para informar sobre las inversiones en los ecosistemas y hacer un seguimiento del rendimiento de las políticas. Utilizando InVEST calcularon que las infraestructuras naturales de Shenzhen evitan 25.000 millones de USD debidos al impacto de la escorrentía por fenómenos meteorológicos extremos. La retención de sedimentos supuso un coste evitado de 8,5 M USD para el año 2018. Las infraestructuras naturales redujeron la temperatura diaria del aire en una media de 3 °C en las zonas edificadas durante los días de verano, lo que se traduce en beneficios de 71.000 USD/día para el conjunto de la ciudad.
Twin Cities, EE. UU	Socios del Natural Capital Project	2021	En Twin Cities, EE.UU., se ha estudiado el posible efecto de un cambio de uso del suelo, de campo de golf a urbano. El software InVEST ha estimado que el cambio de uso de suelo reducirá los servicios ambientales, mientras que mantener estos espacios como parques los aumentaría.
Paris, Francia	Socios del Natural Capital Project	2021	La región de la Île-de-France engloba Paris y su zona metropolitana, incluyendo grandes extensiones de suelo agrícola. Dado el aumento poblacional en torno a Paris, los suelos urbanos han aumentado de un 18% en 1982 a un 23% en 2018. El uso del software InVEST ha puesto de manifiesto una reducción de los servicios ambientales en la zona de un 8% asociado a este aumento del área urbana.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Universidad de Stanford
- Academia China de las Ciencias
- Centro de Resiliencia de Estocolmo
- The Nature Conservancy
- La Universidad de Minnesota
- WWF
- Agencias de planeamiento urbano y desarrollo de infraestructuras a todas las escalas (ayuntamientos, consejerías, diputaciones y ministerios)
- Organizaciones no gubernamentales
- Bancos de inversión
- Compañías que quieran invertir en estrategias de adaptación o evaluar el coste ambiental de sus inversiones
- Organismos ambientales que puede usar este análisis para evaluar la idoneidad de ciertas medidas y sus alternativas

4.3.10.2 Fondo de Prevención de Riesgos Naturales Mayores

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Finanzas y aseguradoras
- Urbanismo y edificación
- Agricultura, ganadería y alimentación

Tipología de la solución: Gobernanza / Estrategia de gestión

Solución / Tecnología

El Fondo de Prevención de Riesgos Naturales Mayores (FPRNM), conocido como "fondo Barnier", creado por el gobierno Frances por la ley n°95-101 de 2 de febrero de 1995 relativa al refuerzo de la protección del medio ambiente, estaba inicialmente destinado a financiar las indemnizaciones por expropiación de bienes expuestos a un riesgo natural importante. Actualmente el FPRNM financia acciones de inversión. Por ejemplo, las subvenciones asignadas en el marco de la elaboración de un programa de acción para la prevención de inundaciones.

Descripción básica

Los seguros transfieren el riesgo de una persona, objeto u organización asegurada a un asegurador. En el caso de los efectos del cambio climático como pueden ser los fenómenos meteorológicos extremos, los seguros son una herramienta fundamental ya que evitan que los daños financieros se conviertan en daños económicos a largo plazo[233]. Sin embargo, las compañías e instituciones aseguradoras tienen que ser solventes frente a un aumento del riesgo debido al cambio climático.

Una de las medidas para controlar o reducir este aumento del riesgo es precisamente la adaptación al cambio climático de los activos asegurados. Dentro de las muchas formas de las que dispone el sector asegurador para acelerar y facilitar la adaptación el cambio climático de sus asegurados es la generación de fondos que inviertan en adaptar ciertos sectores o áreas con un mayor riesgo[234].

Uno de los ejemplos más conocidos es el Fondo de Prevención de Riesgos Naturales Mayores (FPRNM), conocido como "fondo Barnier", que se ha convertido en la principal herramienta en Francia para la financiación de las políticas de prevención de riesgos naturales.

Los tipos de acciones financiadas por el FPRNM son las medidas de realojamiento, la evacuación temporal y realojo en caso de riesgo inminente (p.ej. Riesgo de deslizamientos), la implantación de medidas para reducir la vulnerabilidad a ciertos riesgos naturales, y el diseño e implementación de regulaciones, como pueden ser la preparación de planes de prevención de riesgos a escala nacional o la generación de campañas de concienciación. En este sentido es una herramienta muy útil para financiar proyectos de adaptación a los riesgos naturales en aumento como consecuencia del cambio climático, en áreas donde la vulnerabilidad de la población, infraestructuras o capital productivo es muy alta.

[233] European Union. (2018). Using insurance in adaptation to climate change.

[234] Hidalgo Pérez, A.I. (2020) Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad aseguradora. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

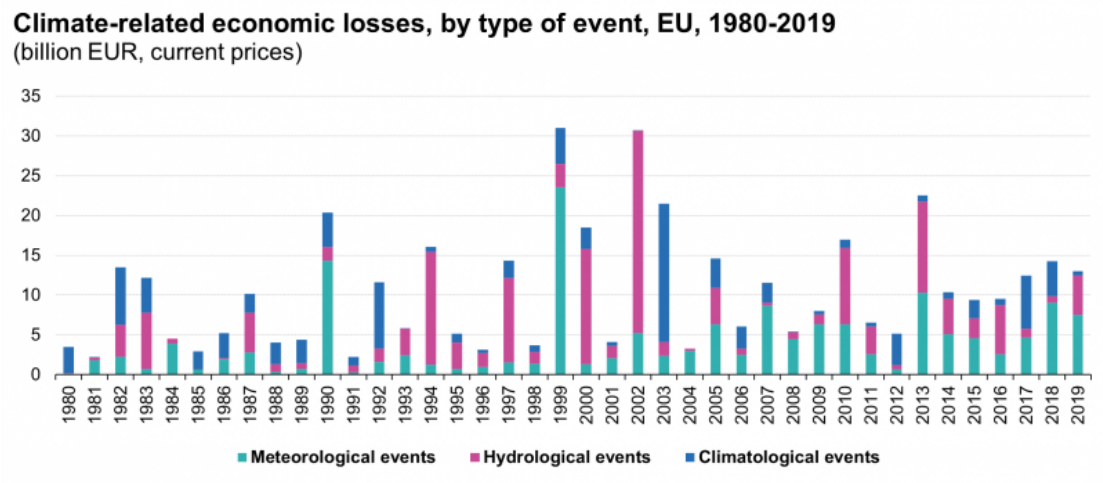


Figura 61. Evolución de las perdidas por eventos climáticos en la Unión Europea. Fuente: Eurostat.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Supone un incentivo directo para implementar medidas de adaptación al cambio climático • Puede facilitar la priorización de inversiones de adaptación	• Los modelos climáticos usados para estimar el riesgo y el aumento de las primas tienen gran incertidumbre por la no linealidad del comportamiento del clima.

Potenciales barreras para su implementación

No es de esperar ninguna oposición más a allá de la que pueda generar una subida de los precios de las pólizas de seguros.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

La innovación radicaría en su introducción en el marco de la financiación de estrategias de adaptación al cambio climático en España. En nuestro país, los incentivos por primas de seguros son reducidos, ya que, al ser un sector regulado, el riesgo se reparte entre prácticamente toda la población.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Este tipo de fondos no están implantados en todos los países, pese a ser una herramienta muy versátil para la adaptación al cambio climático. Por tanto, sería deseable una implementación generalizada de este tipo de herramientas de financiación. Por otro lado, en el caso concreto del FPRNM, se esperan mejoras en su gobernanza, control del gasto y conexión con las entidades gestoras de recursos naturales como las confederaciones u organismos encargados de identificar riesgo[235].

Resultados esperables

Es de esperar que gracias a estos fondos se financien proyectos prioritarios para la prevención de riesgos derivados de los efectos del cambio climático en zonas donde el riesgo es muy alto. De este modo, es probable que se generen programas específicos. Este es el caso del Programa de acción de prevención de inundaciones (PAPI) en Francia.

Costes de implantación

[235] Federation, F. I. (2016). Toward better prevention of and protection against natural hazards.

El FPRNM se financia con una contribución consistente en un porcentaje de las primas adicionales por catástrofes naturales de los contratos de seguros. Este porcentaje fue del 12% en 2009. Esta fuente de financiación llegó a los 194 millones de euros en 2014. Desde su creación en 1995 los contratos de seguros han aportado un total de 1.500 millones de euros para financiar este fondo.

Costes de operación

Los costes de operación en este caso estarían incluidos en las cifras proporcionadas en el apartado "costes de instalación". Los costes de operación están relacionados al personal y costes de mantener el fondo en funcionamiento.

Aceptación social

Es de esperar que este tipo de fondos tengan buena aceptación en la sociedad ya que implican una herramienta más para cofinanciar medidas de adaptación, especialmente del sector privado. Sin embargo, pueden producir rechazo si el porcentaje aportado al fondo implica un aumento en el precio de las primas de los seguros. Sin embargo, si no se incluyen estos riesgos en las primas, el riesgo es asumido completamente por los ciudadanos.

Destinatarios

- Administraciones a nivel autonómico o nacional
- Compañías aseguradoras y reaseguradoras
- Sector agrícola y turístico

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Incendios forestales
- Viento extremo
- Ciclones, huracanes y tifones
- Cambios en los patrones y tipos de precipitación (lluvia, granizo, nieve)
- Inundaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Este tipo de fondos pueden ayudar e incentivar la adaptación de infraestructuras, propiedades y actividades a una mayor incidencia de eventos catastróficos derivados de los efectos del cambio climático, lo que reduciría las pérdidas a largo plazo a los seguros e inversores. Este tipo de subvenciones e incentivos están sobre todo pensados para riesgos puntuales y extremos como las inundaciones, incendios, y temporales de todo tipo, si bien su aplicación podría extenderse a la adaptación a riesgos con un impacto más progresivo.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Se trata de una iniciativa muy específica por lo que no existen casos comparables con este que puedan usarse como ejemplos adicionales.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Instituciones a nivel nacional
- Compañías aseguradoras
- Consorcio de Compensación de Seguros

4.3.10.3 Evaluación del estrés financiero derivado del cambio climático

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Finanzas y aseguradoras

Tipología de la solución: Gobernanza / Estrategia de gestión

Solución / Tecnología

La evaluación del estrés financiero derivado del cambio climático implica estimar las posibles pérdidas ocasionadas conjuntamente por los riesgos físicos y de transición con el objetivo de evaluar la resiliencia de corporaciones y bancos a medio y largo plazo.

Descripción básica

El cambio climático es una fuente de riesgo que afecta a todos los sectores de la economía, incluyendo el sector financiero. Podemos definir dos tipos de riesgo, el riesgo físico y el riesgo de transición[236].

- El riesgo físico es el impacto sobre la economía que pueden tener el aumento en la frecuencia y magnitud de desastres naturales derivados del cambio climático, como inundaciones, deslizamientos de tierra o incendios.
- El riesgo de transición es, sin embargo, el impacto negativo que puede tener sobre ciertos sectores de la economía la implantación de políticas de transición energética, por ejemplo, en sectores con una gran dependencia de recursos contaminantes como es la industria extractiva o la industria petroquímica.

Durante los últimos años varios bancos centrales dentro de la Unión Europea han llevado a cabo análisis del riesgo de sus respectivos sectores financieros. Dada la complejidad de las interacciones entre sectores económicos, políticas y fenómenos climáticos, las metodologías planteadas por cada iniciativa varían y se han ido mejorando en cada estudio. Podemos decir, que el estudio más reciente, y también el más ambicioso o metodológicamente complejo, es el realizado en 2021 por el Banco Central Europeo. El estudio analiza las interacciones entre la transición energética y el riesgo físico, abarcando tanto el impacto directo como el indirecto sobre las empresas y los bancos de las catástrofes naturales más graves y frecuentes.

La metodología usada por el BCE consiste en la definición de escenarios específicos de cambio climático y macroeconomía, el análisis de datos climáticos y financieros, y el uso de modelos climáticos para estimar la transmisión del riesgo. La metodología permite comparar los futuros costes y beneficios de futuras políticas climáticas. Los resultados del estudio ponen de manifiesto los beneficios económicos para todas las entidades de implementar políticas ágiles de adaptación y mitigación al cambio climático que aseguren una transición progresiva y ordenada. El estudio revela que los efectos económicos del cambio climático se concretarán en ciertas regiones y sectores. Por lo que, para las compañías más expuestas los efectos de no tomar medidas de adaptación al cambio climático pueden ser importantes. Además, el estudio revela que los riesgos derivados de la adaptación son mucho menores que los riesgos físicos a largo plazo.

[236] European Central Bank. (2021). ECB's economy-wide climate stress test. In Occasional Paper Series (Issue 281).

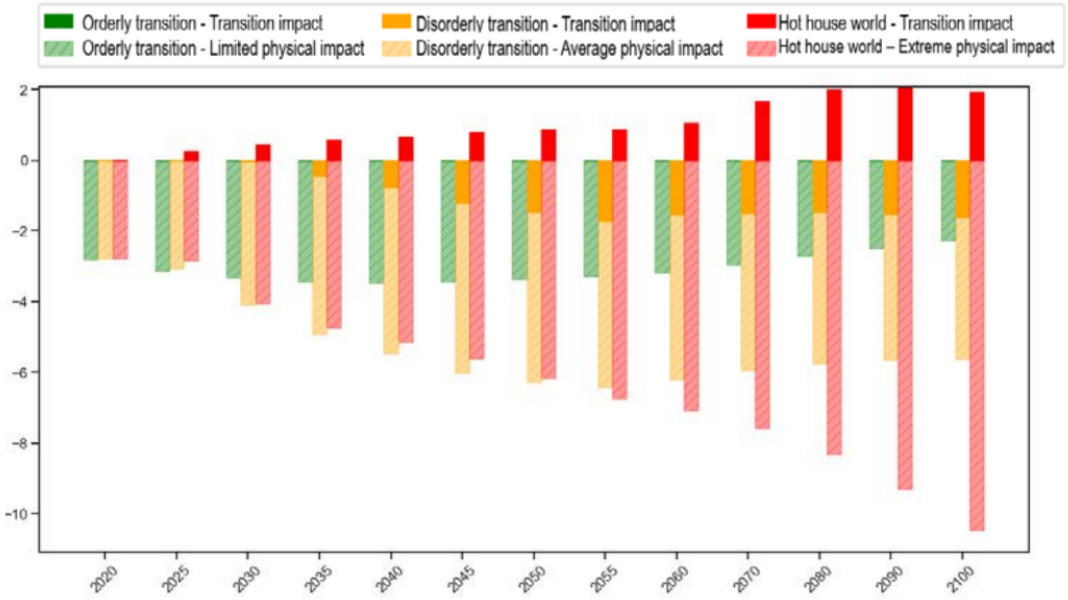


Figura 62. Impacto en el PIB a lo largo del tiempo en relación con el escenario de transición ordenada sin riesgo físico. Las barras rellenas representan el impacto en el PIB de los costes de transición, mientras que las barras discontinuas representan el impacto en el PIB de los daños del riesgo físico. Las barras rellenas y discontinuas son acumulativas cuando los efectos son negativos. Todos los efectos del PIB se calculan con respecto a el escenario de transición ordenada sin riesgo físico, lo que explica que los costes de transición en este escenario sean nulos. Fuente: European Central Bank. ECB's economy-wide climate stress test.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Se trata de una metodología integrada que tiene en cuenta no solo los riesgos derivados del cambio climático, sino también las implicaciones de una transición a tecnologías bajas en carbono. • Se trata de un análisis que puede tener un gran peso para mover grandes inversores y corporaciones en la dirección de la adaptación y mitigación al cambio climático, en la medida en que determinadas tecnologías intensivas en carbono cada vez puedan ser menos aceptadas por el consumidor, menos impulsadas por la Administración, o ambas.	• Se necesita un gran número de datos para que el análisis sea completo.

Potenciales barreras para su implementación

Las principales barreras pueden proceder de la complejidad de la replicabilidad del estudio, derivada de la cantidad de datos que se necesitan y de la complejidad del análisis en sí mismo. Por otro lado, es posible que dicha metodología necesite ser adaptada para su aplicación a sectores o escalas más reducidas, o también actualizada en virtud de los datos acumulados de variación del clima y del entorno económico-financiero.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 7)

El estudio del Banco Central Europeo mejora otros estudios ya existentes, ya que es la única metodología que considera las interacciones de los riesgos físicos y de transición a nivel de empresa en un horizonte temporal largo. Además, es el primer análisis de esta naturaleza que considera el un número tan alto de entidades: 4 millones de corporaciones de todo el mundo

y 1.600 entidades bancarias a nivel europeo. Estas novedades implican que no se ha replicado en ninguna otra circunstancia o escala.

Avances esperados o deseables en los próximos años

En el caso de la metodología usada por el BCE, además de mejorar la cantidad y calidad de los datos de entrada, en un futuro la metodología podría mejorar en dos aspectos. Primero, relajando la hipótesis del balance estático para poder tener en cuenta los efectos de retroalimentación entre los bancos y la economía real. Y, por otro lado, se podrían incorporar efectos de los riesgos de transición y físicos en las carteras minoristas de los bancos, gestores de activos y compañías de seguros.

Resultados esperables

Se espera que los resultados de este tipo de estudios posicionen a las grandes corporaciones, banca y fondos de inversión a favor de la implantación de políticas de adaptación y mitigación al cambio climático. Esto catalizaría la inversión en estrategias de adaptación al cambio climático, así como el movimiento de flujos de capital de tecnologías intensivas en carbono a bajas en carbono.

Costes de implantación

No se ha podido consultar el coste del estudio realizado por el Banco Central Europeo.

Costes de operación

Normalmente, se trata de estudios puntuales que no conllevan costes de mantenimiento.

Aceptación social

No se espera que haya ningún tipo de oposición frente a la realización de este tipo de estudios.

Destinatarios

- Bancos centrales a nivel estatal
- Organismos públicos
- Entidades financieras
- Agencias de calificación del riesgo financiero

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

Este tipo de metodologías de evaluación tienen en cuenta todos los riesgos físicos y económicos a los que puede verse sometido el sector bancario y asegurador.

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

El cambio climático representa una fuente de riesgo sistémico lo que afecta directamente al sector bancario y financiero, sobre todo a aquellas entidades cuyas inversiones están concentradas en determinados sectores económicos o zonas geográficas vulnerables a los efectos del cambio climático. Analizar objetivamente el coste de asumir los efectos del cambio climático sin paliativos frente a diferentes escenarios de adaptación y transición, es clave para las grandes corporaciones, fondos de inversión y banca, ya que podrán adaptar sus inversiones a tiempo para no sufrir o minimizar las perdidas.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Europa	Banco Central Europeo (BCE)	2021	El BCE publica en 2021 los resultados de la prueba de estrés climático en la economía. El informe considera por primera vez la interconectividad del riesgo físico y de transición, evaluando distintos escenarios de actuación frente al cambio climático a 30 años vista. El objetivo es analizar la resiliencia de 4 millones de corporaciones de todo el mundo y 1.600 entidades bancarias a nivel europeo.
Países Bajos	Nederlandsche Bank (DNB)	2018	El DNB realizó uno de los primeros estudios de evaluación de la resistencia al riesgo derivado de una transición energética[237]. El estudio tenía como objetivo evaluar el riesgo a cinco años de transición de bancos, aseguradoras y fondos de pensiones holandeses. Se evaluó el efecto de distintas políticas de transición, desarrollo e implantación de tecnologías y evolución de la confianza de la población. El estudio concluyó que la implantación de medidas inmediatas para asegurar una transición progresiva y coordinada evitaría pérdidas al sector.
Francia	Banque de France (BdF) Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR)	2020	El Banco de Francia (BDF) junto con la ACPR hicieron un análisis piloto[238] en el que se evaluó el efecto a 30 años de los riesgos físicos y los riesgos de transición energética sobre los distintos riesgos a los que están sometidos nueve bancos y sobre los activos y pasivos de 15 instituciones de seguros. Los resultados del estudio revelaron que los bancos y aseguradoras franceses están sometidos a un riesgo moderado. La mayor parte de los activos y pasivos se encuentran situados en Francia, que es uno de los países de la Unión menos afectados por el cambio climático.
España	Banco de España	2022	Siguiendo la línea marcada por el estudio del BCE, el Banco de España (BdE) podría tener publicados en 2022 los resultados de la prueba de resistencia para el sector financiero español. De momento, el BdE estima que los efectos sobre el sector son moderados.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Bancos centrales a nivel estatal
- Fondos de inversión
- Fondos de pensiones
- Compañías aseguradoras y reaseguradoras
- Organismos públicos
- Corporaciones que gestionan capitales de todo tipo

[237] De Nederlandsche Bank N.V. (2018), "An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands", Occasional studies, Vol. 16, Issue 7, Amsterdam

[238] Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution and Banque de France (2021), A first assessment of financial risks stemming from climate change: The main results of the 2020 climate pilot exercise, Analyses et syntheses, No 122/2021, Paris, April

4.3.10.4 Promoción de ayudas para la adaptación frente al riesgo de inundación (El caso del Campo de Cartagena en Murcia)

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Finanzas y aseguradoras
- Urbanismo y edificación
- Agua

Tipología de la solución: Gobernanza / Estrategia de gestión

Solución / Tecnología

Subvenciones públicas para anticipar y prevenir los impactos de las inundaciones mediante la adaptación de edificaciones expuestas al riesgo de inundación y la reducción de su vulnerabilidad.

Descripción básica

El sector asegurador ha identificado durante los últimos años un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos de riesgo asociados al cambio climático. Siendo las inundaciones y las tempestades ciclónicas atípicas los eventos que más afectan al sector asegurador en nuestro país. Es por tanto crucial, para la resiliencia a largo plazo del sector asegurador, que se tomen medidas para reducir la vulnerabilidad a inundaciones en aquellas zonas con mayor riesgo.

Una forma de impulsar la adopción de medidas de adaptación al riesgo por inundaciones es facilitar fondos públicos para subvencionar actuaciones de adaptación en zonas donde el riesgo y la vulnerabilidad son altos.

Un caso piloto en nuestro país es el aprobado en 2020 por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico para el Campo de Cartagena (Murcia)[239]. Este decreto aprobó la concesión de ayudas públicas en 5 municipios de la zona. El criterio de selección de los municipios beneficiarios y la distribución de fondos entre los mismos son las indemnizaciones por inundación efectuadas por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) en los últimos años. En este caso el CCS aporta también su experiencia siniestral y pericial en la selección de los proyectos subvencionables.

Algunas de las actividades financiadas han sido la compra de equipamiento para evitar o mitigar el impacto de una posible inundación (p.ej. barreras o bombas), la ejecución de obras para la adaptación de edificios (p.ej. impermeabilización o sellado) y la relocalización de elementos o equipamientos vulnerables (p.ej. cuadros eléctricos)[240].

[239] 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).

[240] Consorcio de Compensación de Seguros, 2017. GUÍA PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LOS EDIFICIOS FRENTE A LAS INUNDACIONES.




Figura 63 Impacto de las riadas en Los Alcázares. Actuaciones de adaptación contempladas en los casos piloto del PIMA Adapta y que probablemente hayan servido para la aplicación de las subvenciones del RD 1158/2020. Fuente: MITECO, 2020. Guía de adaptación al riesgo de inundación. Caso piloto en Edificaciones. Caso piloto Ayuntamiento de los Alcázares (Murcia).

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Mejora la coordinación entre administraciones. • Incrementa la percepción del riesgo a inundación por parte de la sociedad. • Contribuye a mejorar la ordenación del territorio.	• Se ha de controlar adecuadamente el destino de las ayudas y su eficacia

Potenciales barreras para su implementación

Es esencial estudiar adecuadamente las necesidades a nivel nacional, para que las acciones sean lo más efectivas posibles en términos de prevención de impactos sobre las personas y las cosas, y además sean lo más representativas, permitiendo su escalabilidad a futuro. Es también necesario hacer campañas de concienciación y de comunicación de las medidas transparentes para asegurar la aceptación e implicación de todos los agentes sociales

Una barrera que puede surgir es la coordinación entre administraciones estatales a distintas escalas (estatal, regional y municipal) o de distinto signo político. Es por esta razón que la intervención de instituciones apolíticas, como el consorcio de seguros o las confederaciones hidrográficas, es crucial para el éxito de este tipo de actuaciones.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Este caso piloto es el primero en nuestro país en el que se destinan fondos públicos, con este alcance y perspectiva, para la reducción del riesgo de inundación sobre infraestructuras existentes públicas y privadas.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Dentro del uso de este tipo de herramientas de financiación se pretende también concienciar a la sociedad y agentes económicos el riesgo al que están sometidos para facilitar la participación de todos los actores en la implementación de medidas. Es de esperar que la experiencia e información recogida en este piloto sirva para conocer mejor la eficacia y limitaciones de este tipo de medidas y así permita mejorar su aplicación en otros territorios.

Resultados esperables

Es de esperar que estas pequeñas actuaciones de adaptación que conllevan inversiones reducidas minimicen el riesgo y reduzcan el coste de futuras inundaciones.

Costes de instalación

Los costes de implementar este tipo de acciones pueden variar enormemente dependiendo de la magnitud del riesgo y la tipología de la zona. En el caso piloto del Campo de Cartagena, se aprobó un lote de ayuda pública de unos 3 M€ para adaptación de 5 municipios Los Alcázares, San Javier, Torre-Pacheco, Cartagena y San Pedro del Pinatar.

Esta es una zona con alto riesgo de sufrir los efectos de DANAs (Depresiones aisladas en niveles altos) y donde 90.000 personas viven en zona inundable. Estas medidas deberían minimizar el impacto económico de estos eventos que entre 2005 y 2019 esta contabilizado en unos 180 M€[241].

Costes de operación

No se ha podido encontrar información al respecto

Aceptación social

Se espera que este tipo de inversiones tengan una alta aceptación, ya que en las zonas afectadas por inundaciones recurrentes la población está muy sensibilizada a los efectos. Sin embargo, es necesario comunicar adecuadamente el objetivo de las ayudas y la utilidad de las distintas medidas para asegurar la aceptación y cooperación de todos los agentes.

Destinatarios

- Ayuntamientos
- Gobiernos regionales
- Empresarios y ciudadanos

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones
- Deslizamientos

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

El sector segurador está detectando un aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos derivados del cambio climático. Este aumento, si bien es todavía asumible por las aseguradoras, se espera que aumente en las próximas décadas, por lo que es necesario tomar medidas de adaptación. El riesgo climático con mayor efecto sobre el sector asegurador en España son las inundaciones. Por lo que tomar medidas para progresivamente reducir la vulnerabilidad de edificios e infraestructuras allí donde el riesgo es mayor, es fundamental para asegurar la solvencia del sector asegurador.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Campo de Cartagena, España	Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico	2021	Debido al elevado impacto derivado de la depresión aislada en niveles altos ocurrida en septiembre de 2019 en la zona del Campo de Cartagena, el Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico otorgó un total de 3 millones de euros para el desarrollo 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).

[241] Consorcio de Seguros, 2021. El camino a la adaptación frente al riesgo de inundación: La promoción de ayudas. Revista Digital del Consorcio de Seguros

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- Gobierno estatal
- Consorcio de Seguros
- Empresas de ingeniería
- Empresas de construcción

4.3.10.5 Proyectos piloto para la adaptación al riesgo de inundación de infraestructuras y edificaciones

(Autores: Laura del Val Alonso y Xavier Martínez Lladó)

Áreas o sectores donde aplica:

- Finanzas y aseguradoras
- Urbanismo y edificación
- Agua

Tipología de la solución: Solución tecnológica

Solución / Tecnología

Proyectos piloto para la evaluación coste-beneficio de diferentes medidas de adaptación en diversos tipos de edificaciones e infraestructuras sometidas a riesgo de inundación.

Descripción básica

Las inundaciones representan hoy en día el principal riesgo natural derivado del cambio climático, ya que generan el mayor número de pérdidas humanas y costes económicos con respecto a otros riesgos derivados del cambio climático. La adaptación a este riesgo con el que nuestra sociedad tiene que convivir es fundamental.

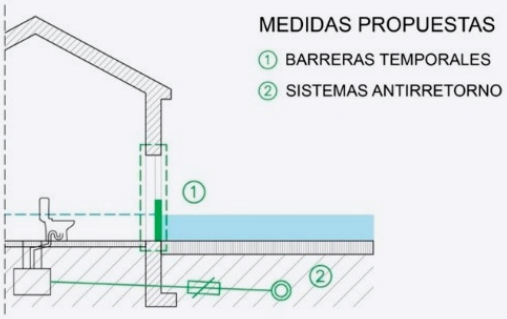
En este sentido uno de los esfuerzos más importantes y novedosos a escala nacional es el que está llevando a cabo la Dirección General del Agua en colaboración con el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) bajo el marco de los planes de gestión del riesgo a inundación. Con el objetivo de impulsar la implementación de medidas para la adaptación al riesgo de inundación de edificios, tanto públicos como privados, la Dirección General de Agua ha generado una serie de guías prácticas para facilitar la evaluación de la vulnerabilidad e implementación de medidas de adaptación.

En paralelo a la promoción de estas guías, la Dirección General del Agua está implementando una serie de proyectos piloto para demostrar la rentabilidad (evaluación coste-beneficio) de las medidas de adaptación. Cada caso piloto tiene en cuenta distintos tipos de infraestructuras, emplazamientos y soluciones.

La metodología empleada se desarrolla en 4 fases[242]:

1. La primera fase consiste en caracterizar el riesgo al que está sometida la zona en cuestión, mediante la recopilación de información espacial y temporal de variables ambientales y socioeconómicas.
2. La segunda fase consiste en hacer un análisis de la vulnerabilidad a las inundaciones. Para ello, se identifican las zonas inundables, puntos de entrada-salida de los flujos, y los caudales y velocidades del flujo dependiendo del nivel de crecida.
3. En una tercera fase, y tras el análisis conjunto de los riesgos y las vulnerabilidades, se propondrían las posibles medidas de autoprotección y mitigación de una posible inundación. El enfoque propone cuatro tipos de medidas de adaptación por orden de prioridad, las que van encaminadas a evitar, resistir, tolerar y finalmente retirar el uso del espacio por considerarse un nivel de riesgo inabordable.
4. En una fase final, se realizaría el análisis coste-beneficio. El estudio se realiza a partir de los datos de las indemnizaciones sufragadas por el CCS. Este es el resultado clave del proyecto, que proporcionará información necesaria para la toma de decisiones priorizada y efectiva de cara a una adaptación generalizada en nuestro país al riesgo que suponen las inundaciones.

[242] Consorcio de Seguros, 2021. Casos piloto de adaptación al riesgo de inundación. Revista Digital del Consorcio de Seguros



SITUACIÓN ACTUAL		T=10	T=100	T=500
Altura de agua (m)		0,25	0,4	0,5
Probabilidad anual		0,1	0,01	0,002
Daño		14.750,00 €	23.600,00 €	29.500,00 €
Daño incremental		737,50 €	1.725,75 €	212,40 €
Daño anual medio				2.675,65 €
Daño 30 años				80.269,50 €
PROPUESTA DE ADAPTACIÓN				
BARRERAS TEMPORALES	4 barreras desmontables 1 x 0.68 m			3.000 €
	2 barreras desmontables 1.5 x 0.68 m			2.500 €
INSTALACIONES	Sistemas antirretorno en sanitarios			2.000 €
COSTE ESTIMADO TOTAL €				7.500 €
Reducción teórica del riesgo				100%
Beneficio/Coste				10,7

Figura 64 Análisis coste-beneficio de medidas de adaptación a las inundaciones en viviendas en el municipio de Cebolla (Toledo). Fuente: Consorcio Seguros.

Potencial de implementación

Ventajas	Desventajas
• Permite involucrar a toda la sociedad en la resolución de un mismo problema, generando sinergias y colaboraciones estrechas entre agentes muy distintos. • Es un mecanismo de concienciación del riesgo con el que conviven las comunidades. • El coste de las acciones, si son coordinadas, es reducido en comparación con los posibles costes producidos por una inundación	• Las medidas de carácter aislado no tienen un impacto tan relevante. Se requiere de una planificación e implementación integrada de distintos tipos de medidas.

Potenciales barreras para su implementación

La principal barrera para la implementación de estas medidas es la coordinación entre los distintos agentes sociales y las administraciones, no solo para el diseño del plan de adaptación, como para la implementación de las medidas y la actuación coordinada en caso de emergencia. Por esta razón, la participación de la sociedad en su conjunto desde el principio del diseño del plan es fundamental para asegurar que todos los agentes involucrados asimilen las medidas y tomen responsabilidad en el éxito de estas.

Otra barrera importante pueden ser los costes de implementación, sobre todo si las medidas identificadas requieren de algún tipo de obra, que ayuntamientos pequeños no puedan asumir con recursos propios.

Nivel de innovación en la actualidad (TRL = 9)

Aunque las medidas de forma individual no parezcan innovadoras, este conjunto de casos piloto representa el primer estudio que se hace a escala nacional y considerando un rango tan amplio de casuísticas. Los resultados pretenden recopilar información con la que el CCS pueda evaluar la eficacia en términos de coste-beneficio.

Avances esperados o deseables en los próximos años

Se espera que los resultados de este estudio generen ejemplos concretos de éxito, que faciliten la implantación masiva y priorizada de medidas de adaptación a las inundaciones en todo nuestro país. Esto representará una reducción generalizada de las pérdidas del sector asegurador por compensaciones derivadas de los efectos de inundaciones, que se espera incrementen progresivamente por el efecto del cambio climático de no implementarse ninguna medida de adaptación, o si la implementación no es efectiva para reducir el riesgo.

Resultados esperables

Se espera que la implementación de estas medidas reduzca drásticamente el impacto en vidas humanas, y las pérdidas económicas. Por ejemplo, en el caso de caso del edificio polivalente de la escuela politécnica de ingeniería de Gijón (Asturias) se estimó que la implementación del conjunto de medidas de adaptación supondría una reducción de pérdidas económicas de hasta el 85% considerando la inversión realizada.

Costes de instalación

Los costes de instalación de estas medidas van a depender enormemente de cada caso. Sin embargo, se puede estimar un coste medio en base a los costes de inversión y pérdidas estimadas de los casos implementados bajo el estudio de la Dirección General del Agua[242] :

Tabla 5 Costes estimados de la implementación de medidas de adaptación en cada caso piloto

Casos		Pérdidas	Medidas de adaptación
Gijón	Edificio polivalente de la escuela politécnica de ingeniería. Incluye aulas, equipos de investigación, y laboratorios. (Descrito en el caso de estudio)	25.000.000€	145.000€
Cuenca	Hospital - Residencia Recoletas. Equipamientos de 20 especialidades médicas, servicio de Urgencias 24 horas, equipos de diagnóstico por imagen, laboratorio, bloque quirúrgico, centro de esterilización, sala de reanimación, sala de rehabilitación y fisioterapia, y 35 habitaciones de uso individual.	920.000€	197.000€
Cebolla, Toledo	Municipio de Cebolla en Toledo, con 3.263 habitantes.	80.000€	7.500€
Los Alcázares, Murcia	El municipio de Los Alcázares en Murcia, con 15.674 habitantes. El casco urbano se ubica en la zona de confluencia entre la Rambla de la Maraña y diversos ramblizos. Esto provoca la entrada de agua de forma dispersa por todo el casco urbano.	4.000.000€	55.000€

La ratio de la inversión entre el coste de las medidas implementadas y las pérdidas esperadas en eventos con una recurrencia entre 25 y 30 años es de 0,08. Lo que significa que por cada euro de la pérdida esperada tendríamos que invertir en torno a 8 cent de €, para evitar en torno al 70% de las pérdidas. Si bien el porcentaje de efectividad de las medidas depende mucho de la vulnerabilidad y riesgo de cada caso.

Costes de operación

Este tipo de actuaciones requieren de un compromiso económico para la realización de mantenimiento. Sin tener referencias concretas a los costes de mantenimiento de las medidas mencionadas específicamente, se puede dar una orientación muy general. El mantenimiento rutinario va desde la limpieza de los elementos instalados hasta la sustitución o reparación de estos. El coste medio de este tipo de operaciones puede variar entre 2 al 5% del coste total del edificio o infraestructura. Los costes de reparación de un edificio, por ejemplo, se estiman en torno al 10% del coste total del edificio[243].

Aceptación social

[243] Mantenimiento de obras civiles

Si la participación de todos los agentes sociales en el diseño e implementación de las medidas se hace adecuadamente, es de esperar que éstas generen una gran aceptación. De lo contrario, la falta de comprensión y de implicación de los agentes sociales y de toda una comunidad en su conjunto, puede derivar en el fracaso de la implementación de las medidas o de su puesta en marcha llegado el momento de actuar frente a un evento de inundación.

Destinatarios

- Municipios y ayuntamientos
- Asociaciones de vecinos
- Asociaciones de comercios e industrias

Impacto en la adaptación al cambio climático

Riesgos derivados del cambio climático a los que nos puede ayudar a adaptarnos

- Inundaciones

Encaje conceptual dentro de la adaptación al cambio climático

Las inundaciones son el evento climático que mayores pérdidas genera al sector asegurador hoy en día. El cambio climático está aumentando la frecuencia e intensidad de estos eventos, por lo que es necesario actuar para garantizar la solvencia a largo plazo de las compañías aseguradoras. Es, por tanto, crucial la implantación de medidas de adaptación a las inundaciones de forma priorizada y escalada. Para ello se necesita información sobre la efectividad de medidas de adaptación de todo tipo y en múltiples situaciones, que permitan generar planes de actuación eficientes, que aseguren el mayor nivel de prevención con la menor cantidad de recursos.

Casos reales o piloto donde se ha aplicado

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Fraga (Huesca)	Dirección General del Agua Ayuntamiento de Fraga	2020	El municipio de Fraga (Huesca) sufre inundaciones de forma recurrente al ocupar parte de la llanura de inundación del río Cinca. Una de las medidas que se han propuesto en este caso es la implementación de usos que sean compatibles con el riesgo a inundaciones. También se han propuesto actuaciones concretas para evitar la entrada de agua en determinados edificios como el centro de salud, centro de día y colegios. Se trata de un caso complejo por la cantidad de edificios vulnerables a una inundación.

Lugar	Responsable	Año	Descripción
Hospital - Residencia Recoletas (Cuenca)	Dirección General del Agua	2020	El Hospital Recoletas en Cuenca sufre periódicas inundaciones del río Júcar. El caso piloto tiene como objetivo reducir el riesgo de inundación del edificio. Para ello primero se plantea un retranqueo de una de las motas para dar más espacio al río. Por otro lado, para salvaguardar la estructura del edificio y proteger el interior, se implementan sistemas antirretornos, se construyen muretes perimetrales, se instalan compuertas hidráulicas abatibles y se traslada a plantas más elevadas las instalaciones eléctricas, de climatización, agua caliente y otros equipos vulnerables. Estas medidas, que tienen un coste de unos 197.000€, supondrán evitar un coste por daños de inundación de unos 920.000€.  Inundación del Júcar a su paso por el Hospital-Residencia Recoletas (Cuenca) Fuente: MITECO
Edificio polivalente de la escuela politécnica de ingeniería de Gijón (Asturias)	Dirección General del Agua	2020	El edificio de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón está situado en una zona muy vulnerable a sufrir inundaciones. El aumento del riesgo en esta zona es consecuencia de un modelo urbanístico que ha quitado zona inundable al río y que ha generado obstáculos e impermeabilizaciones lo que, sumado a un aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvias torrenciales, hace que esta zona este sometida a periódicos episodios de inundaciones. En este caso se pretende evitar que el agua alcance el edificio. Por otro lado, se pretende también mover todos los laboratorios y equipos de investigación a plantas superiores del edificio. Sin medidas de adaptación las pérdidas estimadas superarían los 30 M€ en 30 años.

Agentes de interés (organizaciones, empresas, organismos, etc.)

- Consorcio de Compensación de Seguros
- Confederaciones hidrográficas
- Dirección General del Agua
- Organismos locales como ayuntamientos

5 Anexos

5.1 Relación completa de tecnologías y soluciones innovadoras

*Sectores: A- Agua, AG – Agricultura, ganadería y alimentación, AL – Alerta temprana, BIO – Biodiversidad y patrimonio natural, C – Patrimonio cultural, E – Energía, FA – Finanzas y aseguradoras, IS – Industria y servicios, SA – Salud, T – Turismo y URB – Urbanismo y edificación.

**Tipos de soluciones: TEC – Tecnologías concretas, STEC – Soluciones tecnológicas, NBS – Soluciones Basadas en la Naturaleza, IT – Soluciones basadas en Tecnologías de la Información y GOB – Soluciones de gobernanza o estratégicas de gestión.

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
1	Jardines de Lluvia	A	NBS	Variabilidad pluvial y/o hidrológica	INTERNACIONAL	Un jardín de lluvia es un lecho ajardinado hundido que recoge y trata la escorrentía de las aguas pluviales procedentes de tejados, calzadas, aceras, aparcamientos, calles y césped. Otros nombres comunes para los jardines de lluvia son cuencas de biorretención o cuencas vegetadas.	Cahill, M., Godwin, D. C., & Tilt, J. H. (2018) Gilbreath, et al. (2019) Shah, S., et al. (2019) Wan, Z., Li, T., & Liu, Y. (2018)
2	Humedales artificiales	A	NBS	Fuertes precipitaciones	ITALIA	Conjunto de humedales artificiales que permiten la depuración del excedente de aguas grises en zonas urbanas, proporcionan protección contra inundaciones y avenidas y mejoran la conectividad de los ecosistemas urbanos.	Masi, F., et al. (2017) Gardiner, E. P., et al. (2019) Liquete, C., et al. (2017)
3	Recarga de acuíferos con agua regenerada	A	NBS	Estrés hídrico	ESPAÑA	Barreras reactivas para aumentar la capacidad depurativa de los primeros metros de infiltración de agua regenerada durante la recarga de acuíferos.	Proyecto MAR
4	Medidas naturales de retención de agua para la renaturalización de zonas húmedas	A	NBS	Todos	INTERNACIONAL	Las medidas de retención natural del agua (NWRM) son medidas multifuncionales que pretenden proteger y gestionar los recursos hídricos y abordar los retos relacionados con el agua mediante la restauración o el mantenimiento de los ecosistemas.	Nakamura, F., et al. (2020) Piégay, H., et al. (2020) Life Vallees Ardennaises Life Riverscape Lower Inn Natural Water Retentiton Measures
5	Reutilización de aguas depuradas para riego agrícola	A	NBS	Estrés hídrico	ESPAÑA	El proyecto REUSAGUA se enfoca en la utilización de agua regenerada junto con tecnologías de la información y comunicación con el objetivo de desarrollar prácticas de gestión y protocolos para el manejo del riego, necesarias para conseguir una producción agrícola sostenible.	Proyecto REUSAGUA
6	CREAT	A	IT	Todos	EEUU	Herramienta web de apoyo para la toma de decisiones diseñada para asistir en la realización de un análisis del riesgo a los efectos del cambio climático sobre instalaciones que involucren la gestión de recursos hídricos de algún tipo.	Baranowski, C. (2021)

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
7	Sistema de alertas de riesgos de contaminación de agua	A	IT	Aumento de enfermedades relacionadas con el agua	CHIPRE	Sistema de gestión de riesgos ante eventos de contaminación de agua a gran escala (proyecto europeo PathoCERT).	Proyecto PathoCERT
8	Plataforma STOP-IT	A	IT	Todos	NORUEGA	Plataforma de gestión de riesgos naturales y cibernéticos sobre la infraestructura de agua.	Proyecto STOP-IT
9	Evaluación del rendimiento de embalses ante los efectos del cambio climático	A	IT	Variabilidad pluvial y/o hidrológica	CHILE	Metodología para identificar el momento en que los protocolos explotación actuales de los embalses fracasan bajo un clima cambiante, tratando y presentando adecuadamente sus incertidumbres.	Chadwick, C., et al. (2021)
10	SCOREwater - España	A	IT	Cambio de temperaturas	ESPAÑA	Uso de monitoreo de variables ambientales e integración con tecnologías de Inteligencia Artificial para evaluar estrategias de adaptación al cambio climático.	SCOREwater Case Barcelona
11	SCOREwater - Paises Bajos	A	IT	Cambio de temperaturas	PAISES BAJOS	Uso de monitoreo de variables ambientales e integración con tecnologías de Inteligencia Artificial para evaluar estrategias de adaptación al cambio climático.	SCOREwater Case Amersfoort
12	SCOREwater - Alemania	A	IT	Cambio de temperaturas	ALEMANIA	Uso de monitoreo de variables ambientales e integración con tecnologías de Inteligencia Artificial para evaluar estrategias de adaptación al cambio climático.	SCOREwater Case Göteborg
13	Raineo®	A	STEC	Fuertes precipitaciones	EUROPA	Sistema modular para la recogida y aprovechamiento del agua de lluvia.	PIPELIFE
14	Reutilización Potable Indirecta mediante recarga en acuífero	A	STEC	Estrés hídrico	ESPAÑA	Reutilización Potable Indirecta mediante recarga en acuífero.	DEMOWARE Fajnorová, S., et al. (2021)
15	Sistemas fotovoltaicos flotantes para reducir la evaporación	A	STEC	Cambio de temperaturas	EGIPTO	Sistema fotovoltaico flotante (FPVS) para cubrir la zona de agua de un lago para reducir la evaporación y producir energía.	Abd-Elhamid, H. F., & Javadi, A. A. (2011) Waheeb Youssef, Y., & Khodzinskaya, A. (2019)
16	SubSol	A	STEC	Sequías	PAISES BAJOS	Inyección y recuperación en un acuífero para cubrir picos de abastecimiento derivados de periodos de sequía.	SubSol
17	Circular Water Neighborhoods	A	STEC	Sequías	PAISES BAJOS	Marco basado en la simulación para la evaluación cuantitativa del rendimiento de los sistemas descentralizados a escala de barrio, en el que se pueden vincular diferentes tecnologías para proporcionar efectos beneficiosos en múltiples ámbitos del ciclo urbano del agua (Bouziotas et al., 2019).	Bouziotas D., et al. (2019)
18	NEREDA	A	STEC	Sequías	PAISES BAJOS	Nereda es la tecnología de tratamiento de aguas residuales que purifica el agua utilizando las características únicas de la biomasa granular aeróbica.	NEREDA

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
19	ADAPTaRES	A	STEC	0	ESPAÑA - PORTUGAL	El proyecto ADAPTaRES incluye toda una serie de actuaciones encaminadas a demostrar la capacidad de adaptación al cambio climático en la Macaronesia a través de la reutilización de aguas residuales depuradas, el riego eficiente y la prevención y reducción de la contaminación, que ayuden a superar las barreras normativas, sociales, económicas o tecnológicas existentes, todo ello acompañado por un importante esfuerzo en acciones de sensibilización, información y cualificación a todos los niveles de la sociedad.	Proyecto ADAPTaRES
20	Decentralized Sewer-mining	A	TEC	Sequías	GRECIA	Sistemas descentralizados de aprovechamiento o minado de aguas residuales.	Makropoulos. C., et al. (2018)
21	Agrosilvicultura y diversificación de cultivos	AG	NBS	Variabilidad de la temperatura	EUROPA	Sistema agroforestal resiliente al cambio climático.	Climate ADAPT
22	Métodos de gestión de zonas desertificadas para adaptarse al cambio climático	AG	NBS	Degradación del suelo	ITALIA - ESPAÑA - PORTUGAL	El objetivo principal de Desert-Adapt es demostrar estrategias y tecnologías innovadoras de adaptación al cambio climático para mejorar la calidad del suelo, su conservación, así como de la vegetación en fincas situadas en zonas del Mediterráneo bajo riesgo de desertificación.	DESERT ADAPT
23	Método Alternate Wetting and Drying (AWD) para el cultivo de arroz	AG	NBS	Estrés hídrico	ESPAÑA	Solución que combina elementos de adaptación y mitigación del cambio climático en el cultivo del arroz. La solución consiste en introducir cambios en la gestión del agua y la gestión del rastrojo en el cultivo, con el objetivo de reducir el consumo de agua, las emisiones de gases de efecto invernadero.	Proyecto Ebro-ADMICLIM Martínez-Eixarch, M., et al. (2018)
24	Producción alternativa de plantas aromáticas frente a cultivos tradicionales	AG	NBS	Cambios en los patrones y tipos de precipitación (lluvia, granizo, nieve)	ESPAÑA	El desarrollo de cultivos alternativos a los tradicionales, como puede ser la producción extensiva de plantas aromáticas y medicinales, abre nuevas oportunidades agrícolas con prácticas novedosas, más adaptadas al entorno y a los efectos del cambio climático esperables en los próximos años y especialmente agresivos para los cultivos de cereal.	Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático en SPAIN
25	Climate adaptation to shifting fish stocks (CLOCK)	AG	NBS	Todos	EUROPA	Proyecto de investigación Horizonte 2020 que sostiene que la combinación de la gestión pesquera, la ciencia y el enfoque sistémico socio-ecológico es necesaria para avanzar en la adaptación de la pesca al cambio climático.	Proyecto CLOCK
26	Smart Farming Techniques for Climate Change Adaptation	AG	IT	Cambio de temperaturas	CHIPRE	Técnicas de agricultura inteligente para adaptación al cambio climático diseñadas para pequeños agricultores en un contexto Mediterráneo.	Adamides, G., et al. (2020)
27	InTeGrate	AG	IT	Todos	EEUU	Plataforma de e-learning para un futuro sostenible, con un módulo para estudiantes sobre la adaptación de la agricultura al cambio climático.	InTeGrate
28	AWA - AgriAdapt Webtool para la adaptación	AG	IT	Todos	EUROPA	Herramienta web para la adaptación al cambio climático del sector agrario Europeo.	Herramienta Agri Adapt

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
29	Agrivoltaics	AG	STEC	Estrés térmico	FRANCIA - CHINA - EEUU	Paneles fotovoltaicos instalados a una altura suficiente del suelo como para permitir el cultivo.	Barron-Gafford, G., et al. (2019)
30	Aerofarms	AG	STEC	Estrés hídrico	EEUU	Cultivo vertical de vegetales para la alimentación humana.	Aerofarms
31	Desarrollo de nuevas variedades de plantas cultivadas	AG	STEC	Cambio de temperaturas	FRANCIA	Métodos de ensayo innovadores de variedades vegetales para la introducción de nuevas variedades mejor adaptadas al cambio climático.	Proyecto INVITE
32	Sistema de alerta de calor para trabajadores del sector agrícola y otros sectores	AG	STEC	Olas de calor	DINAMARCA	Estrategias de adaptación al cambio climático para las cinco industrias principales de la UE y sus trabajadores: manufactura, construcción, transporte, turismo y agricultura.	Proyecto Heatshield
33	Invernaderos autosuficientes con climatización adaptativa	AG	STEC	Cambio de temperaturas	NORUEGA	El sistema de control ambiental GreenCap proporciona un control del clima energéticamente eficiente para invernaderos industriales donde las condiciones naturales son un desafío para la eficiencia de la producción.	The Explorer
34	Adaptación al cambio climático en la Acuicultura	AG	STEC	Todos	INTERNACIONAL	Revisión de soluciones tecnológicas y no tecnológicas de la acuicultura al cambio climático.	Galappaththi, E.K., et al. (2020)
35	Hoja Biosolar	AG	TEC	Todos	REINO UNIDO - ALEMANIA	Bioreactor de microalgas incorporado en paneles para integrar en fachadas de edificios.	Arborea Arup
36	Envira IOT	AL	IT	Inundaciones	ESPAÑA	Sistema IoT para la detección de inundaciones a pequeña escala través de parámetros ambientales.	Envira IoT
37	ARANTEC	AL	IT	Inundaciones	ESPAÑA	Aplicación cloud y móvil que permite la monitorización de ríos y caudales.	Smarty River
38	MIDAS: A New Integrated Flood Early Warning System for the Miño River	AL	IT	Inundaciones	ESPAÑA	Sistema inteligente de alerta temprana para inundaciones.	Fernández-Nóvoa, D., et al. (2020)
39	An Urban Flash Flood Alert Tool for Megacities—Application for Manhattan, New York City, USA	AL	IT	Inundaciones	EEUU	Sistema de predicción para determinar que zonas de las ciudades se inundaran en caso de precipitaciones extremas.	Al-Suhili, R., et al. (2019)
40	Dynamic Real-Time Infrastructure Planning and Deployment for Disaster Early Warning Systems	AL	IT	Inundaciones	SUIZA	Planificador dinámico de infraestructura ante eventos naturales extremos.	Zhou, H., et al. (2018)

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
41	Territorial early warning systems for rainfall-induced landslides	AL	IT	Inundaciones	NORUEGA - ITALIA - ALEMANIA	Uso de pluviómetros y otro tipo de sensores como instrumentos de monitoreo para medir la duración de la intensidad y modelos meteorológicos para pronosticar la cantidad esperada de lluvia con el fin de emitir una advertencia con un tiempo de entrega determinado.	Piciullo, L., et al. (2018)
42	Improving an Extreme Rainfall Detection System with GPM IMERG data	AL	IT	Inundaciones	ITALIA	Estudio de la precisión de herramientas IMERG para la precisión en la detección de eventos de lluvia y la predicción de la cantidad de agua.	Mazzoglio P., et al. (2019)
43	Enhancing the reliability of landslide early warning systems by machine learning	AL	IT	Inundaciones	INDIA	Sistema de alerta temprana de deslizamientos de tierra inducidos por lluvias basado en el aprendizaje automático.	Thirugnanam, H., et al. (2020)
44	Analysis of the Potential of IT System Support in Early Warning Systems for Flood Risk Mitigation	AL	IT	Inundaciones	POLONIA	Sistema de TI para la mitigación de las consecuencias respecto a peligros extremos consistente en la captación de información y aviso a los usuarios finales.	Goniewicz, K., & Burkle, F. (2019)
45	Geomorphology-Based Analysis of Flood Critical Areas in Small Hilly Catchments	AL	IT	Inundaciones	ITALIA	Estudio geomorfológico a escala de cuenca de drenaje combinada con modelos de inundaciones para la evaluación de zonas y su predisposición a inundaciones.	Piacentini, T., et al. (2020)
46	Real-Time Early Warning System Design for Pluvial Flash Floods	AL	IT	Inundaciones	COLOMBIA	Estudio que revisa los aspectos más importantes de un sistema de alerta temprana para inundaciones y presenta una arquitectura teniendo en cuenta dichos aspectos.	Li, H., et al. (2018)
47	Flash flood early warning research in China	AL	IT	Inundaciones	CHINA	Métodos de predicción a largo plazo basados en estadísticas regulares y mecanismos de inundación, indicadores de peligro a tiempo real basados en múltiples fuentes de datos.	Li, H., et al. (2018)
48	A Belief Rule Based Flood Risk Assessment Expert System using Real Time Sensor Data Streaming	AL	IT	Inundaciones	EEUU	Sistema experto basado en reglas de creencias (BRBES) que se desarrolla en una plataforma de Big Data para evaluar el riesgo de inundaciones en tiempo real.	Monrat, A.A., et al. (2018)
49	GEONICA	AL	STEC	Inundaciones	ESPAÑA	Rain Alert - producto.	Geonica
50	Sistema de detección de alertas para detectar y mitigar riesgos de salud	AL	STEC	Aumento de enfermedades relacionadas con el agua	SUECIA	Sistema de detección de anomalías y de alerta temprana locales de la infraestructura de agua residual hacia la detección de eventos causados por lluvias extremas y/o interacción humana sobre la red (proyecto europeo SCOREWATER).	SCOREwater

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
51	UAV para la alerta temprana de desprendimientos de tierra	AL	STEC	Deslizamientos de tierra	ITALIA	Sistema que permite vigilar las zonas de riesgo de deslizamiento y estudiar los fenómenos de deslizamiento utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV) que permiten la alerta temprana.	Bernardo, E., et al. (2021)
52	Predicción de desprendimientos de tierra con datos satelitales de lluvia	AL	TEC	Fuertes precipitaciones	ITALIA - INDIA	Cálculo automático de los umbrales de precipitación que puedan inducir la aparición de desprendimientos.	Massimo, M., et al. (2018) Algoritmo CTRL-T algorithm
53	THE NEST	BIO	NBS	Cambios en los patrones y tipos de precipitación (lluvia, granizo, nieve)	ALEMANIA	Cobijo para fauna y herramienta de aprendizaje y concienciación social. Aumenta biodiversidad y residencia de los humedales.	Animalesque
54	Estrategia de infraestructuras verdes urbanas de Vitoria-Gasteiz	BIO	NBS	Todos	ESPAÑA	Se trata de una solución integral de diseño con un doble objetivo principal: por una parte, favorecer la biodiversidad en las zonas urbanas y por otra utilizarla para mejorar la calidad de vida y adaptarse al cambio climático.	Climate ADAPT Case Vitoria Gasteiz
55	Vrijburcht	BIO	NBS	Todos	HOLANDA	Un jardín colectivo a prueba de clima financiado con fondos privados.	Climate ADAPT Case Vrijburcht
56	La Gran Muralla Verde	BIO	NBS	Erosión del suelo	AFRICA	La Gran Muralla Verde del Sáhara y el Sahel (GGW) es un esfuerzo de reforestación para detener la degradación de la tierra en todo el continente africano (Goffner et al., 2019).	Nature (2020) Goffner, D., et al. (2019) Greatgreenwall
57	Combatir la desertificación, caso de Alvelal	BIO	NBS	Degradación del suelo	ESPAÑA	Gestionar un territorio desde un punto de vista agroambiental para prevenir los problemas derivados de la desertificación.	Asociación Alvelal United Nations Convention to Combat Desertification
58	GUARDIAN	BIO	STEC	Incendios forestales	ESPAÑA	Guardian (UIA03-338) es un proyecto destinado a aumentar la resiliencia al fuego en una zona del Parque Natural del Túria.	
59	WILD HOPPER	BIO	TEC	Incendios forestales	ESPAÑA	Dron con capacidad para extinguir incendios en bosques.	Wild Hopper project
60	Bioprotección de monumentos de piedra	C	NBS	Cambios en los patrones y tipos de precipitación (lluvia, granizo, nieve)	ESPAÑA	Bioprotección de monumentos de piedra.	COE
61	Hyperion	C	IT	Todos	GRECIA - ITALIA - NORUEGA - ESPAÑA	Cuantificación fiable de los factores de estrés climáticos, hidrológicos y atmosféricos.	Proyecto Hyperion

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
62	Modelización de las condiciones climáticas en interiores	C	STEC	Cambio de temperaturas	HOLANDA	Aplicación de modelos climáticos regionales de alta resolución junto con nuevas herramientas de simulación de edificios para predecir las futuras condiciones climáticas exteriores e interiores.	Proyecto CLIMATE FOR CULTURE
63	THERMOS	E	IT	Variabilidad de la temperatura	EUROPA	Sistema de modelización y optimización térmica.	Proyecto THERMOS
64	C3S Energy	E	IT	Variabilidad de la temperatura	EUROPA	Herramienta de visualización de última generación, utilizando de datos de entrada calibrados de alta resolución, para construir el que muestra las variaciones climáticas y energéticas en toda Europa.	WEMC Copernicus
65	Mapa de adaptación energética	E	IT	Variabilidad de la temperatura	INTERNACIONAL	Plataforma web colaborativa de seguimiento de casos de estudio y proyectos en el campo de la adaptación al cambio climático en el sector de la energía.	Energy Adaptation Map
66	Écowatt	E	IT	Variabilidad de la temperatura	FRANCIA	Plataforma web desarrollada por *Réseau de Transport d'Électricité de France* (RTE, operador de un sistema de transmisión) que proporciona al consumidor información en tiempo sobre el estado de consumo y previsión de cortes basado en un modelo "climático de electricidad". Esta iniciativa ayuda a equilibrar la oferta y la demanda de electricidad gestionando las fluctuaciones en la producción y pronosticando los picos de demanda.	Ecowatt
67	Dynamic Line Rating	E	STEC	Cambio de temperaturas	BÉLGICA - BULGARIA - FRANCIA - ITALIA - EEUU - URUGUAY - VIETNAM	La DLR es la capacidad de variar la capacidad térmica de una línea eléctrica aérea de transmisión o distribución (cable) de forma dinámica y en tiempo real, en función de la variación de las condiciones ambientales (temperatura ambiente, radiación solar y velocidad y dirección del viento) (IRENA, 2020).	Ouranos Cradden, L. C., & Harrison, G. P. (2013) IRENA (2020). Dynamic line rating. In Innovation landscape brief.
68	Earth-air heat exchanger	E	STEC	Variabilidad de la temperatura	INTERNACIONAL	Método de climatización geotérmica de ventilación estival y calentamiento invernal muy utilizado en las casas pasivas.	PAM Sakhri, N., et al. (2020)
69	PIANO KEY WEIR	E	TEC	Fuertes precipitaciones	GLOBAL	Diseño innovador, con tanques de descarga rectangulares distintivos que parecen las teclas de un piano para aumentar la capacidad de descarga de aliviaderos en embalses y presas.	
70	Agri-business incubator	FA	GOB	Todos	BULGARIA - ITALIA	Incubadora que ayuda a la economía local creando nuevas empresas, mejorando la competitividad y respondiendo al mercado agrícola local.	Proyecto IAGRI
71	Advancing Climate Risk Insurance Plus (ACRI+)	FA	GOB	Todos	BARBADOS - CHINA - GHANA - MARRUECOS	*Advancing Climate Risk Insurance* Plus (ACRI+) es una iniciativa de *Munich Climate Insurance Initiative.*	MCII
72	Iniciativa de Bonos Climáticos	FA	GOB	Todos	INTERNACIONAL	Iniciativa de Bonos Climáticos.	Climate Bonds
73	Bono de resiliencia forestal	FA	GOB	Todos	EEUU	El FRB es una asociación público-privada que permite que el capital privado financie la tan necesaria restauración forestal (Beck et al., 2019).	Beck, M. W., et al. (2019)

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
74	Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM)	FA	GOB	Todos	FRANCIA	El Fondo de Prevención de Riesgos Naturales (FPRNM), conocido como "fondo Barnier", creado por la ley n°95-101 de 2 de febrero de 1995 relativa al refuerzo de la protección del medio ambiente, estaba inicialmente destinado a financiar las indemnizaciones por expropiación de bienes expuestos a un riesgo natural importante. Actualmente el FPRNM financia acciones de inversión. Por ejemplo, las subvenciones asignadas en el marco de la elaboración de un programa de acción para la prevención de inundaciones.	DREAL Grand Est
75	Subvenciones para la adaptación al riesgo de inundación de edificaciones existentes	FA	GOB	Inundaciones	ESPAÑA	Subvenciones públicas para la adaptación de edificaciones expuestas al riesgo de inundación y la reducción de su vulnerabilidad.	RD 1158/2020, de 22 de diciembre Consorcio de Seguros
76	Mapa de estrés financiero derivado del CC	FA	GOB	Todos	EUROPA	La evaluación del estrés financiero derivado del cambio climático implica estimar las posibles pérdidas ocasionadas conjuntamente por los riesgos físicos y de transición con el objetivo de evaluar la resiliencia de corporaciones y bancos a medio y largo plazo.	Alogoskoufis, S., et al. (2021)
77	InVEST	FA	IT	Todos	EEUU	*InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)* es un software para identificar los beneficios de la naturaleza en ciudades.	Hamel P., et al. (2021) Natural Capital
78	Proyectos piloto para la adaptación al riesgo de inundación de infraestructuras y edificaciones	FA	STEC	Inundaciones	ESPAÑA	Proyectos piloto para la adaptación de diversos tipos de edificaciones e infraestructuras sometidas a riesgo de inundación.	Consorcio de Seguros
79	Digitalización de la cadena de suministros	IS	STEC	Todos	INTERNACIONAL	La digitalización de la cadena de suministro conducirá a una mayor transparencia y permitirá a las empresas minimizar su propio riesgo operativo, así como identificar y remediar eficazmente a los socios en riesgo.	
80	OFF GRID ELECTRIFICATION STRATEGY	IS	STEC	Todos	ESPAÑA - SUECIA - ALEMANIA	Producción local de energía, es decir, ser en gran medida autosuficientes con respecto a la energía.	Bautista., J.A. et al. (2020)
81	Circuitos cerrados de agua y valorización en minería	IS	STEC	Estrés hídrico	FINLANDIA	Circuitos cerrados de agua y valorización de residuos en minería.	ITERAMS (2020). Kinnunen, P., et al. (2021)
82	Sistemas circulares de aprovechamiento de agua en los polígonos industriales	IS	STEC	Sequías	ESPAÑA	Recuperación de agua industrial para torres de refrigeración, calderas y usos desmineralizados.	Proyecto ULTIMATE

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
83	Buque cisterna para aguas poco profundas	IS	TEC	Sequías	ALEMANIA	BASF presenta buque cisterna innovador para transporte en aguas bajas en el Rin. El diseño hace una contribución esencial a la seguridad del suministro y la competitividad de la red local, así como un aumento significativo en los volúmenes de transporte con poca agua en comparación con los petroleros convencionales.	BASF
84	CoolAnt – Natural Air Cooler	IS	TEC	Estrés térmico	INDIA	Estructura de colmena de terracota diseñada como sistema de refrigeración.	Ant Studio
85	LIFE ALGAECAN	IS	TEC	Estrés hídrico	ESPAÑA - ESLOVENIA	Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria del procesamiento de frutas y hortalizas basado en el cultivo de microalgas heterótrofas.	Proyecto LIFE ALGAECAN
86	Guía local-provincial de vulnerabilidad para mejorar la adaptación a salud.	SA	GOB	Todos	CANADA	Plan regional/local de análisis de riesgos y vulnerabilidades en salud. Adaptación focalizada a escala de barrios.	
87	Muros vegetales	SA	NBS	Aumento de la contaminación atmosférica	REINO UNIDO	Muros vegetales de abedules jóvenes en calles de tráfico intenso contra el material ultrafino originado por la combustión de vehículos.	
88	UrbClim	SA	IT	Olas de calor	BELGICA - ESPAÑA	Sistema de adaptación al estrés térmico en Amberes (Bélgica) basado en un modelo climático urbano de alta resolución de 100-m para mapear a microescala (barrios, calles) las olas de calor y el estrés térmico (UrbClim).	De Ridder, K., et al. (2015)
89	Cálculo del mapa de Madrid de la Wet Bulb Globe Temperature con microsensores	SA	IT	Cambio de temperaturas	BÉLGICA	Cómputo y mapeado diario de alta resolución de los valores de Wet Bulb Globe Temperature 2 metros, que siempre deberían estar por debajo de los 25°C para no tener efecto en salud.	
90	iSCAPE living labs	SA	IT	Todos	EUROPA	El proyecto iSCAPE (*Improving the Smart Control of Air Pollution in Europe*) tiene como objetivo integrar y avanzar en el control de la calidad del aire y de las emisiones de gases de efecto invernadero en ciudades europeas, mediante el desarrollo de estrategias sostenibles de remediación pasiva de la contaminación ambiental, desarrollo de políticas y el estímulo de cambios en el comportamiento de los ciudadanos.	Proyecto iSCAPE Living Labs iSCAPE
91	ARBOCAT	SA	IT	Aumento de las enfermedades transmitidas por vectores	ESPAÑA - EEUU	Plataforma de modelos matemáticos que predicen el riesgo de brotes locales de enfermedades infecciosas arbovirales que puedan propagarse en Cataluña basándose en el control de una serie de variables incluyendo información climática, ecológica y socioeconómica particular de la región.	ArboCat
92	Toolkit para sensibilización ciudadana	SA	IT	Todos	EEUU	Una herramienta digital para, usando las redes sociales, comunicar sobre los efectos del cambio climático en la salud.	

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
93	Health Equity Zones (HEZ)	SA	STEC	Todos	REINO UNIDO	Mediante talleres comunitarios, se ayuda a los residentes a evaluar sus puntos fuertes y sus vulnerabilidades asociadas al cambio climático y a identificar estrategias para reducir los riesgos climáticos. Después de un taller inicial, cada equipo estudia sus propias comunidades y desarrolló una serie de iniciativas que iban desde la formación y la divulgación sobre la preparación para los desastres, hasta la plantación de árboles y la educación de los propietarios. Las necesidades y prioridades de las comunidades impulsan estos esfuerzos y generan una serie de iniciativas diversas. Animar y equipar a los vecinos y socios de la comunidad para que colaboren en la creación de lugares saludables para que la gente viva, aprenda, trabaje y juegue.	Rhode Island, Health Department of Health
94	UKCIP's Adaptation Wizard	SA	STEC	Todos	REINO UNIDO	App de adaptación en salud al cambio climático.	UKCIP
95	AirQon	SA	STEC	Cambio de temperaturas	HOLANDA	Sostenibilidad y salud de los eventos en espacios públicos y reducción de emisiones.	UIA
96	SMARTCITIZEN	SA	TEC	Aumento de la contaminación atmosférica	INTERNACIONAL	Sensores de bajo coste de medida de calidad del aire (PM10, PM2.5, PM1), meteorológicos (humedad, presión atmosférica, temperatura), gases de efecto invernadero (eCO2, TVOC), luz, ruido.	Proyecto BGG
97	Rapid E	SA	TEC	Aumento de la contaminación atmosférica	SUIZA	Fluorimetría láser para la detección en tiempo real de bioaerosoles. Permite identificación y cuantificación en función de las librerías creadas en la nube. En un primer momento se desarrolló para la identificación a tiempo real del polen y por tanto era el primer sistema alternativo al del contaje experto por un botánico.	Šikoparija B., (2020) Sauliene I., et al. (2019) Kawashima, S., et al. (2017) Sindt, C., et al. (2018)
98	AerosolSense™ Sampler	SA	TEC	Aumento de las enfermedades transmitidas por vectores	EEUU	Este muestreador específicamente adaptado al muestreo de virus en aerosoles se vende como una solución en el monitoreo y detección de nuevos patógenos, como el SARS-CoV-2. Se publicita como herramienta para la detección de microorganismos patógenos en el aire de interiores y por lo tanto permite mejorar los protocolos de seguridad en interiores (p.ej. grandes museos, espacios donde se congrega mucha gente, etc.) Los cartuchos con las muestras recogidas deben de enviarse a un laboratorio que procese las muestras mediante PCR.	Thermofisher
99	ARANET CO2 sensors	SA	TEC	Aumento de la contaminación atmosférica	EEUU	Uso de sensores de medida de dióxido de carbono para informar sobre el nivel de ventilación en espacios cerrados.	Washington Post
100	HEPA / HVAC	SA	TEC	Aumento de la contaminación atmosférica	EEUU - REINO UNIDO	Instalación de filtros HEPA portables o sistemas HVAC de filtración.	

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
101	Indicador CO2 en grandes espacios	SA	TEC	Aumento de la contaminación atmosférica	JAPON	Pantalla que muestra a tiempo real la concentración de CO2 en conciertos y otros grandes espacios (aeropuertos, teatros, pinacotecas…), con el objetivo de reducir el riesgo de contagio potencial de coronavirus (y otros virus respiratorios, estacionales, por ejemplo, como la gripe o el rinovirus).	Asahi
102	SAFEWAY	T	IT	Fuertes precipitaciones	EUROPA	Sistema de gestión de infraestructura basado en GIS para una respuesta optimizada a eventos extremos en las redes de transporte terrestre.	
103	PANOPTIS	T	STEC	Deslizamientos de tierra	ESPAÑA	Aumento de la resiliencia de las carreteras mediante el uso combinado de tecnología multisensor y modelos climáticos.	Sevilla de la Llave, I., et al. (2020)
104	RESIST	T	TEC	Deslizamientos de tierra	ESPAÑA	Prototipos de drones para la inspección por contacto de estructuras de transporte críticas (puentes y túneles).	Proyecto RESIST
105	PROSNOW®	TU	IT	Estrés térmico	FRANCIA - SUIZA - ITALIA - AUSTRIA	Sistema de predicción meteorológica y climática aplicado a la gestión de la nieve en estaciones de esquí.	PROSNOW
106	ECOARTISNOW	TU	TEC	Cambio de temperaturas	ITALIA	Cañones de nieve más eficientes y silenciosos.	Proyecto EcoArtiSnow
107	UVOX-Redox technology (demEAUmed)	TU	TEC	Estrés hídrico	ESPAÑA - ALEMANIA	La línea de tratamiento del agua de la piscina conformada por la desinfección UV, la ozonización y la oxidación avanzada mediante radicales hidroxilos conducen a la inactivación de todos los patógenos y microorganismos del agua y a la oxidación de los (micro)contaminantes.	DemEAUmed UVOX
108	RESILENCE BY RENOVATION	URB	GOB	Fuertes precipitaciones	PAÍSES BAJOS	Tratamiento del suelo urbano para aumentar permeabilidad y disminuir la gestión de aguas residuales provenientes de aguas fluviales (Renovación de diques en Países Bajos).	TUDelft
109	Growing Fresh and Clean Air	URB	NBS	Aumento de la contaminación atmosférica	INTERNACIONAL	Fitofiltración en edificios.	Wbdg
110	PHUSICOS	URB	NBS	Avalanchas	EUROPA	Solucionas basadas en la naturaleza para reducir el riesgo de los efectos del cambio climático en zonas de montaña.	Phusicos
111	RESILIO	URB	NBS	Todos	PAÍSES BAJOS	Red para la instalación de cubiertas ligadas a la adaptación.	Uia
112	SUPERMANZANA BARCELONA	URB	NBS	Aumento de la contaminación atmosférica	ESPAÑA	Nuevo programa de espacios urbanos resilientes con más protagonismo para los usuarios y que fomenta el comercio local.	Superilles
113	Ebroresilience	URB	NBS	Inundaciones	ESPAÑA	Medidas encaminadas a minimizar el riesgo de inundación en el eje del Ebro, sea otorgándole más espacio al río, o facilitando la apertura de cauces alternativos de inundación, o mediante embalses temporales para captar el exceso de caudal.	Consor seguros
114	THERMAFY	URB	IT	Cambio de temperaturas	REINO UNIDO	Herramientas de análisis térmico y gestión de obras integradas en smartphones.	ThermaFY

	Nombre de la solución	Sector *	Tipo **	Efectos CC	Localización	Solución / Tecnología	Referencia
115	RESCCUE	URB	IT	Ciclones, huracanes y tifones	EUROPA	Un conjunto de herramientas orientado a los usuarios finales (administradores de ciudades y operadores de servicios urbanos) tendrá la capacidad de implementarse en diferentes tipos de ciudades, con diferentes presiones del cambio climático.	Proyecto RESCCUE
116	EAVOR - Loop®	URB	STEC	Variabilidad de la temperatura	CANADA	Sistema de geotermia de circuito cerrado en forma de resistencia subterránea.	Eavor
117	Water Square	URB	STEC	Variabilidad pluvial y/o hidrológica	HOLANDA	Estanques de recogida de aguas pluviales. Cuando el tiempo lo permite, los estanques pueden utilizarse como anfiteatros, canchas de baloncesto y voleibol o pistas de skate.	Public space
118	CONFLUENCE PARK	URB	STEC	Inundaciones	EEUU	Diseño holístico de la gestión del agua en los edificios.	Lake Flato Flato Architects
119	CARBON CURE	URB	STEC	Cambio de temperaturas	EEUU	Nueva composición de hormigón armado con dióxido de carbono capturado.	Carbon cure
120	THE URBAN VILLAGE	URB	STEC	Todos	DINAMARCA	Nueva visión de cómo diseñar, construir y compartir nuestros hogares.	Effekt
121	HOLEDECK	URB	STEC	Ciclones, huracanes y tifones	ESPAÑA	Nuevo forjado de losas aligeradas.	Issuu Alarcón + Asociados
122	BIOHM	URB	TEC	Cambio de temperaturas	REINO UNIDO	Aislamiento para edificios implementando biomateriales.	Biohm
123	SMOG FREE TOWER	URB	TEC	Aumento de la contaminación atmosférica	PAÍSES BAJOS	Solución local para limpiar el aire en zonas concretas de la ciudad capturando el carbono del ambiente.	Studio Roosegaarde
124	Raindrop	URB	TEC	Estrés hídrico	PAÍSES BAJOS	Recipiente colector de aguas pluviales en viviendas unifamiliares y tipologías residenciales de baja densidad.	Raindrop
125	MADE OF AIR	URB	TEC	Cambio de temperaturas	ALEMANIA	Paneles carbón positive.	Madeofair
126	Torres de captación de viento	URB	TEC	Cambio de temperaturas	ORIENTE MEDIO	Refrigeración y ventilación natural mediante torres de captación de viento.	Sangdeh, P. K., & Nasrollahi, N. (2020) Guggenheim
127	Materiales de Cambio de fase	URB	TEC	Estrés térmico	INTERNACIONAL	Los materiales de cambio de fase, comúnmente conocidos como PCM, son productos que almacenan y liberan energía térmica durante los procesos de fusión y congelación.	PCM

5.2 Equipo multidisciplinar del estudio

Xavier Martínez Lladó es Ingeniero Químico por la Universidad Politécnica de Cataluña (2003), Postgrado de Gestión Ambiental (2003), Doctor en Química Ambiental por la misma universidad (2008). Su principal foco de investigación son las tecnologías de separación, especialmente las membranas, para el tratamiento de aguas y la recuperación de compuestos valiosos. Actualmente, es responsable de la unidad de agua, aire y suelo de Eurecat, centrándose en la coordinación de proyectos de I+D+i sobre tecnologías del agua, aire y suelo en el sector privado y público, trabajando con empresas de primer nivel del sector del agua pero también con empresas de otros sectores donde las tecnologías de separación tienen un papel clave en sus procesos industriales: alimentación, química, minería, etc. Es coautor de más de 25 publicaciones revisadas por pares y ha dirigido 2 tesis doctorales. También tiene una extensa experiencia en la coordinación de proyectos de investigación e innovación a nivel regional y europeo.

Laura del Val Alonso es doctora en Ingeniería del Terreno por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Máster en Hidrología con especialización en hidrogeología por la Vrije Universiteit (VU) de Ámsterdam, y Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad de Alcalá (UAH) en Madrid. Inició su carrera profesional ejecutando y gestionando proyectos internacionales en el sector del agua para IGRAC, centro de la UNESCO en Delft. Posteriormente, se incorporó a la UPC como investigadora predoctoral, siendo el objetivo de su tesis la aplicación de nuevas metodologías para la caracterización de acuíferos costeros. Durante la realización de su tesis siguió colaborando con UNESCO como consultora externa en proyectos sobre acuíferos transfronterizo. Una vez obtenido el grado de doctor se incorporó como investigadora postdoctoral en la Universidad de Barcelona, donde trabajó en geotermia. Actualmente trabaja como investigadora avanzada en la línea de suelo y agua subterránea de Eurecat, en temas de tratamiento de contaminación de aguas subterráneas y sostenibilidad.

Carmen M. Torres Costa es ingeniera química por la Universidad de Santiago de Compostela (USC, 2006) donde al terminar el grado trabajó como investigadora en el Grupo de Modelización Ambiental hasta 2010. Obtuvo el doctorado en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos en la Universidad Rovira i Virgili (URV, 2013). Ha sido investigadora contratada en el grupo de Análisis y Gestión Ambiental (URV, 2013-2021), y desde 2016, es profesora asociada del Departamento de Ingeniería Química de la URV. Actualmente es investigadora en la Fundación Eurecat en el Área de Sostenibilidad, dentro de la unidad técnica WAS (siglas en inglés de agua, aire y suelo).

Irene Ràfols es Arquitecta por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) con un Máster en Ingeniería y Producción Integradas por Ordenador (UPC). Actualmente es la Responsable del Departamento de Innovación y Desarrollo de Producto de Eurecat. Tiene 15 años de experiencia en proyectos de I+D habiendo participado en Proyectos Europeos (H2020) y Nacionales (Retos, CIEN, Cervera). Su experiencia se centra en el desarrollo de productos innovadores para distintos sectores desde el concepto hasta la industrialización, especializada sobre todo en los productos para el sector construcción. Su conocimiento de materiales se basa en materiales poliméricos, materiales compuestos y hormigones de altas prestaciones. Es inventora de 4 patentes. También ha trabajado como arquitecta en la rehabilitación de edificios.

Nil Álvarez es investigador de la línea de cambio climático de la Fundación Eurecat, donde participa en proyectos de restauración de ecosistemas, soluciones basadas en la naturaleza, servicios ecosistémicos, bioeconomía, turismo sostenible, resiliencia climática, ecología, agricultura sostenible y gobernanza. Es licenciado en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de Barcelona y ha trabajado siempre en el campo de la investigación y el desarrollo tanto en universidades (Universidad Autónoma de Barcelona, Universidade dos Açores, Aberdeen University y Manchester University), como en centros de investigación (The James Hutton Institute y el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias).

Mireia Plà Castellana es Investigadora de la unidad de Water Air Soil (WAS) de Eurecat. Geóloga, por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), y con un máster en ingeniería del terreno e Ingeniería Física, con especialización en Hidrología Subterránea, por la Universitat Politècnica de Cataluña (UPC). Actualmente, está acabando la tesis en quimiometría y creación de algoritmos para la detección de contaminantes en diferentes matrices de agua (potable y residual) usando sensores de espectrofotometría. Ha trabajado como investigadora a la Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la Universitat Politècnica de Cataluña en proyectos de creación y construcción de sistemas naturales para la mejora de la calidad del agua en agricultura y en la industria vitivinícola, y como técnica en el departamento de R+D en proyectos tecnológicos de control de la calidad del agua. Actualmente está involucrada en proyectos de desarrollo de algoritmos para el control de la concentración de cloro en la red de distribución hídrica urbana, de especiación química y recuperación de metales, y de descontaminación de suelos.

Eloy Hernández Investigador de la unidad Applied Artificial Intelligence de Eurecat. Estudió Ingeniería Técnica en Informática de Gestión en la Universidad de Lleida (UdL) y también tiene el Certificado de Aptitud Pedagógica del Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Lleida. Eloy tiene más de 12 años de experiencia como programador de plataformas web y aplicaciones de gestión y planificación de recursos (ERP) para empresas del sector de la energía nuclear y del ámbito administrativo. Ha trabajado como investigador en proyectos orientados al análisis y visualización de datos aplicado en arquitecturas IoT y Big Data. Actualmente está involucrado en proyectos relacionados con analítica de datos, modelos predictivos, gestores eficientes de recursos, interoperabilidad e IoT como son los proyectos B-WaterSmart, iBathWater y Glomicave.

Aitor Corchero es investigador senior y gestor de proyectos de I+D en el Grupo de I+D+i en Inteligencia Artificial Aplicada del Centro Tecnológico Eurecat. Estudió Ingeniería en Informática en la Universidad de Mondragón (MUN) y también ha obtenido el Máster en Ciencias de la Computación en la Universidad de Lleida. Tiene más de 10 años de experiencia como científico de datos y web semántica. Específicamente, tiene experiencia en tecnologías web semánticas, análisis de datos (aprendizaje automático / minería de datos y aprendizaje profundo), sistemas de apoyo a la toma de decisiones (razonamiento basado en reglas y razonamiento basado en casos) e inteligencia artificial cognitiva para una amplia gama de dominios que incluyen la gestión del agua y la energía de la construcción gestión de la eficiencia y sistemas de seguridad física y lógica (sistemas de detección y remediación de botnets). Además, está involucrado en el dominio del agua (OGC®, ICT4Water Cluster), web semántica (IoT Schema.org) y asociaciones de IoT (AIOTI, BDVA). Actualmente, es líder del grupo de acción de gestión del agua de la AIOTI y también líder del grupo de acción "Normalización e Interoperabilidad" del clúster ICT4WATER. Además, Aitor ha estado involucrado y liderado desde EUT más de 20 proyectos de la UE que cubren los programes de FP7, H2020 y LIFE.

Carles Ibañez Martí es Director Científico del Centro en Resiliencia Climática y Coordinador de la Línea de Cambio Climático de EURECAT. Doctor en Biología por la Universidad de Barcelona (1993). Autor de 130 publicaciones en revistas científicas internacionales y capítulos de libro, y de numerosas publicaciones técnicas y divulgativas. Ha participado como conferenciante en más de 100 congresos internacionales sobre ecología, recursos hídricos, cambio climático y sostenibilidad. Ha dirigido 14 tesis doctorales y numerosas tesis de máster. Es Editor Asociado de la revista científica "Estuaries & Coasts". Ha sido revisor experto del quinto Informe del IPCC. Investigador Visitante del Socio-ecological Synthesis National Centre of United States (University of Maryland). Es miembro del Consejo Asesor de Desarrollo Sostenible del Gobierno de Cataluña.

Queralt Plana Puig es doctora en Ingeniería del Agua por la Université Laval (Québec, Canada) en el Departamento de Ingeniería Civil e Ingeniería del Agua, desde 2020. Previamente consiguió el título de Ingeniera Química por la Universidad de Barcelona, en el año 2010, complementado con un máster en Ingeniería Ambiental por la Universidad Politécnica de Cataluña, en el año 2013, y otro máster en Ingeniería del Agua por la Université

Laval, en el año 2015. Durante su carrera profesional, se ha dedicado al monitoreo on-line y a la modelización de plantas depuradoras de aguas residuales y ríos, y al análisis de largas series de datos. El trabajo realizado ha dado lugar a publicaciones científicas y a participación en congresos nacionales e internacionales (5 artículos en revistas indexadas y > 10 congresos). Actualmente trabaja como investigadora avanzada en Eurecat en la Unidad de Agua, Aire y Suelo del Área de Sostenibilidad, en temas de modelización de procesos ambientales y en tecnologías de tratamiento de aguas residuales y potable.

Xavier Rodó es responsable del Programa CLIMA (Clima y Salud) de ISGlobal, (ORCID ID: 0000-0003-4843-6180). Director fundador del instituto Catalán de Ciencias del clima (IC3) y exdirector del LRC-Parc Científc de Barcelona. MSc en Ingeniería, BSc en Ciencias Biológicas, completó su doctorado en 1997 (Univ. Barcelona) sobre simulación de ecosistemas extremos bajo forzamiento climático. Investigador visitante en la Univ. Princeton y la Univ. California at San Diego, y científico asociado del Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA-IGES) en Maryland. Especializado en ecología de poblaciones, dinámica climática y modelado del impacto climático. Fue docente en ecología, estadística avanzada, dinámica climática y sostenibilidad y lideró/participó en más de 50 proyectos de investigación. Ha sido mentor de 20 investigadores postdoctorales. Copresidente de CLIVAR-España (-2007), SSC de MEDCLIVAR-ESF, Contributing Author y Expert Reviewer del AR4-GTII y Expert Reviewer del AR6 (IPCC2007, 2021). Scientific Committee Member del Drought Integration Group del World Climate Research Program (WCRP) y del ISIMIP Health Impact Models para IPCC AR6. Miembro del comité editorial de PLoS NTD, Scientific Reports, PLoS Climate. Forma parte del panel de expertos de la Organización Meteorológica Mundial sobre el efecto del clima y la calidad del aire en la pandemia de la COVID-19. Experto en el grupo de Salud de la Unión para el Mediterráneo.

Joan Sabat es arquitecto, Director de SaAS arquitectura y sostenibilidad, presidente de la asociación *Low Impact Mediterranean Architecture* (LIMA), director del departamento de construcciones de la Salle Barcelona, URL (1197-2012), socio fundador de la agrupación de arquitectura sostenible del COAC y miembro del comité de expertos de la asociación Arquitectura y Sostenibilidad (ACA)

FUNDACIÓN CANAL

fundacioncanal.com

Mateo Inurria, 2. 28036 Madrid

Canal de Isabel II

FUNDACIÓN CANAL
Canal de Isabel II