



**PROYECTO 13. Catálogo de soluciones técnicas para la recarga de acuíferos.**



## **ÍNDICE:**

- 1. Objeto del Proyecto.**
- 2. Alcance.**
- 3. Problema que contribuya a resolver.**
- 4. Descripción (fases y desarrollo)**
- 5. Temporalización**
- 6. Presupuesto.**
- 7. Indicadores de evaluación de los resultados del proyecto**
- 8. Documentación de Referencia.**
- 9. Revisión de Instrumentos de Financiación.**

## 1. Objeto del proyecto:

El escenario climático actual, con periodos de sequía cada vez más acusados, distribución muy irregular de las precipitaciones y la creciente escasez de agua ha generado una búsqueda de proyectos de gestión hídrica. Entre estos proyectos posibles, está la recarga gestionada de acuíferos.

En el Plan ADAPTAGRANADA, se incorporaron varias medidas en este sentido, algunas de mayor alcance que otras. En este caso, se incluyen las soluciones técnicas de recarga gestionada de los acuíferos, descritas de una manera somera puesto que se trata de proyectos de gran entidad que en su mayoría son abordados por administraciones nacionales o regionales.

## 2. Alcance.

La competencia y gestión de los acuíferos es de carácter autonómica, por lo que cualquier actuación en este sentido debe estar autorizada por la misma.

FINALIDAD	CONDICIONANTES
<b>ACUÍFEROS SOBRE-EXPLOTADOS QUE DEBEN SER REALIMENTADOS.</b>	Zona con intensa explotación agrícola o zona que suscite un determinado interés medioambiental
	Acuíferos con intensa extracción para usos potables
	Zonas con un incremento de extracción previsto para el futuro, ya sea programado o espontáneo (por ejemplo: crecimiento demográfico en una ciudad o pueblo cuyo sistema de abastecimiento de agua potable esté alimentado desde acuíferos; ampliación de la superficie agrícola con parcelas abastecidas con aguas subterráneas; etc.).
<b>ACUÍFEROS QUE MUESTRAN UNA DEGRADACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA. PROGRESIVA</b>	Zonas con elevadas concentraciones de nitratos
	Zonas con valores medioambientales deteriorados o en peligro de desaparición.
	Zonas con problemas de intrusión salina continental o marina (acuíferos costeros)
<b>ACUÍFEROS EN ZONAS DONDE LA DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES MUESTRA UNA MARCADA VARIACIÓN ESTACIONAL</b>	Disponibilidad de agua superficial excedentaria durante algunos meses del año. Zonas donde se puede combinar la recarga artificial de acuíferos con el manejo de excedentes (control de avenidas, etc.).

### 3. Problema que contribuya a resolver (Impacto/s potencial/es a los que responde)

Como se ha determinado en el Proyecto ADAPTAGRANADA, los efectos adversos del cambio climático en materia de disponibilidad de los recursos hídricos, requieren medidas de adaptación que pasan por contar con reservas de agua estratégicas para afrontar los escenarios de escasez, teniendo además la provincia de Granada, una fuerte dependencia al abastecimiento de agua potable subterránea.

Entre todas las técnicas de gestión hídrica, tanto convencionales como alternativas, el almacenamiento intencionado de agua en los acuíferos, o recarga gestionada, se considera uno de los métodos más eficientes para luchar frontalmente contra los efectos del cambio climático.

La figura 1 sintetiza los principales efectos o macroimpactos de los efectos adversos del cambio climático, sus problemas aparejados y cómo la técnica MAR (recarga gestionada de acuíferos) permite la reducción de la intensidad y escala de cada uno de los impactos mencionados.



Figura 1. MAR como medida de adaptación al cambio climático (incluso mitigación). Manifestaciones principales, problemas asociados y cómo la recarga gestionada de acuíferos permite reducir el impacto de estos vectores. Tomado de FernándezEscalante et al., 2019.

#### 4. Descripción (fases y desarrollo)

La recarga artificial de acuíferos, es un método que permite introducir de manera intencionada agua en los acuíferos subterráneos (en general, agua de buena calidad y pretratada). Una vez almacenada en estos, puede ser extraída para distintos usos (abastecimiento, riego, frenar la intrusión marina, reducir la contaminación, regenerar ecosistemas, etc.) mediante pozos o sondeos.

La actividad se lleva a cabo generalmente en invierno o en la época lluviosa, cuando hay excedentes hídricos o también puede ser continua si proviene por ejemplo de una depuradora.



Figura 1. Definición de recarga artificial de acuífero.

Cualquier proyecto de recarga artificial requiere, de manera muy sintética, cuatro requisitos básicos, que son:

1. Contar con una fuente de agua con una cierta garantía
2. Contar un medio receptor para su almacenamiento
3. Contar con un contexto legal permita la actividad
4. Contar con unos recursos económicos suficientes para su implementación.

La diversificación de las **fuentes de toma**, es decir, la posibilidad de captar agua de diferentes orígenes en distintos periodos del año, incrementa la posibilidad de éxito técnico de cada sistema.

Las fuentes de toma más habituales son:

<p><b>RIOS</b></p>	<p>La derivación de excedentes hídricos de origen fluvial salvaguardando un caudal ecológico constituye una de las alternativas más viables y recurrentes, sí bien, al tratarse de un método intermitente y temporal, la garantía de suministro es baja, y queda supeditada a la climatología.</p> <p>La sostenibilidad del sistema, por tanto, está amenazada por el cambio climático y la concurrencia de eventos climáticos extremos con frecuencia creciente. Igualmente resulta importante estudiar los efectos ambientales, especialmente aquellos diferidos (producidos aguas debajo de la fuente de toma a una distancia indeterminada o de impactos inmediatos imprevisibles) y en el medio y largo plazos. La dependencia exclusiva de excedentes fluviales para actuaciones de recarga gestionada, hoy por hoy, no garantiza su continuidad futura, de ahí la conveniencia de combinar este recurso con otros adicionales.</p>
<p><b>DEPURADORAS</b></p>	<p>Los efluentes de depuradoras debidamente purificados constituyen la única alternativa de suministro permanente para operaciones de recarga intencionada.</p> <p>Dependiendo de la fuente originaria del proceso de depuración, el efluente resultante puede tener calidades muy diversas, especialmente si hay presencia industrial.</p> <p>Es una práctica habitual su mezcla con aguas de otros orígenes previamente a su infiltración en el acuífero, aunque esta práctica no siempre es viable.</p> <p>Por bueno que sea el proceso de depuración, las aguas resultantes suelen ser muy inestables iónicamente y suelen requerir un post-tratamiento.</p> <p>Este se lleva a cabo bien en la propia planta depuradora; en la cabecera del dispositivo de recarga; o bien in itinere, es decir, el agua es sometida a tratamientos de manera simultánea a su flujo por las conducciones.</p> <p>En general, la práctica de usar aditivos químicos como cloro, iodo o agua oxigenada es evitada en la mayoría de las experiencias, por la liberación de iones nocivos libres a los acuíferos y por los sinergismos que se generan en reacciones consecutivas.</p>
<p><b>ESCORRENTÍA URBANA</b></p>	<p>Se trata de otra fuente de suministro intermitente y temporal cuya calidad es muy dependiente de la zona de captación. No obstante, la escorrentía de carreteras o de aeropuertos suele contar con importantes concentraciones de, por ejemplo, hidrocarburos; mientras que en zonas rurales la</p>



	<p>presencia de sólidos en suspensión suele ser bastante elevada. De este modo, se trata de una alternativa adicional a ser combinada con otras fuentes de toma.</p>
<p><b>DESALADORAS O HUMEDALES</b></p>	<p>Abarca las restantes fuentes de toma que en general corresponden a excedentes hídricos, bien de desaladoras, plantas de tratamiento de agua potable, retorno de regadío (que de manera habitual presentan una sobrecarga de nutrientes), y muy especialmente, los caudales excedentarios de avenidas o inundaciones, que en general requieren amplias zonas de almacenamiento temporal para ser decantados antes de proceder a su infiltración en el terreno.</p>
<p><b>ESPACIOS DEGRADADOS O ABANDONADOS</b></p>	<p>El uso de elementos pre-existentes es una solución tecnológica de primer orden, que permite abaratar costes y reutilizar elementos cuya clausura podría representar un coste importante.</p> <p>Al mismo tiempo se puede cumplir una doble función de recarga y uso ambiental, al realizar una integración o restauración paisajística pasando de un hueco minero abandonado (en general areneros) y foco potencial de contaminación a un humedal infiltrante y biodepurador.</p> <p>A pequeña escala, cabe mencionar la reutilización de pozos secos, habiendo acuñado el slogan “do not close a well, reuse it”. La incorporación de pozos abandonados al sistema de recarga, su relleno con grava y pequeñas adaptaciones han permitido su integración en el medio, el uso del terreno superficial que ocupaban y, a su vez, llevan a cabo una recarga inducida e invisible.</p>
<p><b>APROVECHAMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS PRE-EXISTENTES</b></p>	<p>A mayor escala cabe mencionar la reutilización de elementos relacionados con la construcción y la actividad minera, tales como pozos secos, areneros, canteras, bocaminas, etc., cuya clausura puede resultar gravosa y su permanencia peligrosa al ser puntos de conexión directa con el acuífero.</p> <p>Su reutilización como balsas de infiltración abarata costes de movimiento de tierras, etc. y otorga a estos elementos un interés medioambiental.</p> <p>Otros elementos han sido empleados en casos específicos, tales como el trazado de arroyos secos en la actualidad o viejos canales de conducción, que son reutilizados para la recarga intencionada del acuífero con garantía de que el agua fluye por gravedad sin necesidad de realizar estudios de micro topografía</p>

Por otro lado, es introducida al acuífero mediante diversos dispositivos, de manera superficial o en profundidad.

<b>MÉTODOS Y DISPOSITIVOS DE RECARGA ARTIFICIAL</b>			
<b>EN SUPERFICIE</b>	<b>EN CAUCES</b>	<i>SERPENTEOS Y REPRESAS</i>	Se fundamenta en aumentar el tiempo y la superficie de contacto entre el agua y el terreno, bien mediante la construcción de diques o bien de muros de tierra en forma de L.
		<i>ESCARIFICACIÓN</i>	Consiste en escarificar el lecho del río eliminando finos y mejorando la infiltración.
		<i>VASOS PERMEABLES</i>	Son embalses de superficie cuya cerrada no es totalmente impermeable.
	<b>FUERA DE CAUCES</b>	<i>BALSAS</i>	Son dispositivos alargados, poco profundos y de gran superficie. La infiltración se produce fundamentalmente por el fondo.
		<i>FOSAS</i>	Son semejantes a las balsas, pero la superficie lateral es importante. Domina la infiltración por los flancos.
		<i>CANALES</i>	Son dispositivos poco profundos que siguen la topografía del terreno. La infiltración se produce tanto por el fondo como por los flancos.
		<i>CAMPOS DE EXTENSIÓN</i>	Se basan en extender el agua por la superficie del terreno, normalmente mediante riego con grandes dotaciones.
	<b>EN PROFUNDIDAD</b>	<i>SONDEOS DE INYECCIÓN</i>	Mediante la construcción de sondeos profundos se inyecta agua en el acuífero.
<i>SIMAS Y DOLINAS</i>		Consiste en aprovechar las simas y dolinas de los terrenos calcáreos para introducir agua en el acuífero.	
<i>DRENES Y GALERÍAS</i>		Consiste en realizar en el fondo de un pozo, por el que se introduce el agua, drenes y galerías.	
<i>ZANJAS Y SONDEOS</i>		Este dispositivo consiste en una gran zanja de infiltración, de escasa profundidad, rellena de grava calibrada, dentro de la cual se ubican sondeos de recarga.	

Fuente: De la Orden, J.A. (2006)

## 5. Temporalización.

La duración de un proyecto de recarga artificial, desde que se inician los primeros estudios hidrogeológicos hasta que se ultima la construcción de la instalación de recarga artificial de carácter industrial, puede cuantificarse en un tiempo comprendido entre 2 y 5 años.

Evidentemente, el grado de conocimiento hidrogeológico que se posee sobre una determinada zona, así como la decisión de no realizar alguna de las etapas que caracterizan a este tipo de estudios, hacen que dicho tiempo se acorte.

Un cronograma tipo de las actividades a realizar en el proyecto es el siguiente:

- Fase de estudios hidrogeológicos previos 0-12 meses
- Modelización matemática 6 meses
- Fase de construcción de la instalación piloto 3-12 meses
- Fase de seguimiento de la experiencia piloto 6-12 meses
- Nuevos estudios hidrogeológicos de detalle 0-6 meses
- Diseño y construcción de la instalación de carácter industrial 6-12 meses

Hay que tener presente que un proyecto de recarga artificial puede englobar numerosos



elementos característicos de la regulación superficial. La presencia de estos componentes puede implicar, en ocasiones, un proceso muy largo para la recogida de datos, estudio, toma de decisiones y construcción de los dispositivos aprobados.

Además, una vez construidas las instalaciones pueden pasar algunos años hasta que sean totalmente efectivas.

## **6. Presupuesto.**

Establecer un presupuesto relativo a este tipo de proyectos, va a depender de la tipología elegida, las características hidrogeológicas, etc.

No obstante, como se ha comentado anteriormente, son proyectos de costes elevados que deben ser acometidos por estamentos supramunicipales, mediante subvenciones incluso europeas o nacionales.

Como referencia de presupuesto de coste de un proyecto de este tipo está el LIFE-ENSAT “Mejora del tratamiento del suelo acuífero para mejorar la calidad del agua de recarga en el acuífero del delta del río Llobregat” con un coste de 1,240,358 €.

No obstante, existen soluciones con un coste menor que serán abordadas en el Proyecto nº 14 Incorporación de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios e instalaciones municipales.

## **7. Indicadores de evaluación de los resultados del proyecto.**

Los indicadores de evaluación de la implantación de proyectos de este tipo, se establecen según el volumen de agua infiltrada.

- INDICADOR 1: Litros/Segundo de infiltración directa incorporada al terreno.
- INDICADOR 2: metros profundidad de la capa freática.

## **8. Documentación de referencia.**

Experiencias en la provincia de Granada.

- Reciente autorización de recarga del acuífero de Río Verde.  
[https://cadenaser.com/emisora/2021/07/27/radio\\_motril/1627371238\\_430439.html](https://cadenaser.com/emisora/2021/07/27/radio_motril/1627371238_430439.html)
- La instalación de Dehesas de Guadix.  
([http://aguas.igme.es/igme/publica/lib\\_mvalle/pg159.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/lib_mvalle/pg159.pdf))  
[http://aguas.igme.es/igme/publica/lib\\_mvalle/pg169.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/lib_mvalle/pg169.pdf)
- Red de formación de soluciones de recarga gestionada de acuíferos  
<https://www.marsolut-itn.eu/>
- Proyecto LIFE-ENSAT

[https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=3429](https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3429)

## 9. Revisión de Instrumentos de Financiación.

### FONDOS FEDER:

- Objetivo específico 2: Promover la adaptación al cambio climático, la prevención de riesgos y la resiliencia ante las catástrofes.

### FONDO EUROPEO AGRÍCOLA DE GARANTÍA (FEAGA) Y FONDO EUROPEO AGRÍCOLA DE DESARROLLO RURAL (FEADER):

- Los Estados miembros deberán destinar al menos el 40 % de la dotación financiera global de la PAC post2020 a los objetivos medioambientales y de lucha contra el cambio climático.

Información sobre nueva PAC: [Inicio Política Agrícola Común \(PAC\)](#)

### PROGRAMA LIFE

Algunos proyectos podrían encajar en las actuaciones del programa LIFE para mejora de la adaptación al cambio climático.

Toda la información sobre las convocatorias del Programa LIFE puede consultarse aquí: [Programa LIFE](#)

### PIMA ADAPTA:

- PIMA Adapta seguirá operativo como instrumento financiero del PNACC-2: Medidas orientadas a la restauración del ciclo hidrológico y la recuperación de la conectividad fluvial, incluyendo la eliminación de barreras artificiales y la restauración de zonas inundables y zonas húmedas.

Toda la información sobre las convocatorias del Programa PIMA puede consultarse aquí: [Planes PIMA](#)

### NEXT GENERATION

- Política Palanca 2. Infraestructuras y ecosistemas resilientes:  
Componente 4. Conservación y restauración de ecosistemas y su biodiversidad  
Componente 5. Preservación del espacio litoral y los recursos hídricos

Todas las convocatorias asociadas al Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (Fondos Next Generation), puede consultarse en este enlace:

[Convocatorias | Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia Gobierno de España.](#)

**FINANCIACIÓN PRIVADA:** Comunidades de Regantes a través de canon de riego.