

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Propuesta de un sistema de evaluación de impactos para dispositivos de recarga gestionada de acuíferos en España

Y soluciones tecnológicas en forma de binomios Problema-Solución (P-S)

Proposal for an impact assessment system for managed aquifer recharge devices in Spain and technological solutions in the form of Problem-Solution binomials (P-S)





Autor Principal: Enrique Fernández Escalante, Tragsa- PTEA

Otros autores: Jon San Sebastián Sauto (Tragsatec); José David Henao Casas (Tragsa-UPM); Rodrigo Calero Gil (Tragsa)

ÍNDICE

1. Título
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Bibliografía
10. ANEXO I Listados de chequeo de impactos medioambientales en dispositivos MAR
11. ANEXO II: Listas de binomios Problema-Solución (P-S) en dispositivos MAR

1. TÍTULO

Propuesta de un sistema de evaluación de impactos para dispositivos de recarga gestionada de acuíferos en España y soluciones tecnológicas en forma de binomios Problema-Solución (P-S)

Proposal for an impact assessment system for managed aquifer recharge devices in Spain and technological solutions in the form of Problem-Solution binomials (P-S)

2. PALABRAS CLAVE

Recarga gestionada de acuíferos, MAR, Evaluación de Impacto Ambiental, EIA, recarga artificial, soluciones tecnológicas, binomios Problema-Solución (P-S)

3. RESUMEN

La recarga gestionada de acuíferos (previamente conocida como recarga artificial) es una técnica de gestión hídrica consistente en la introducción "intencionada" de agua en determinados acuíferos, para la utilización posterior del agua, bien a corto plazo, o para contar con reservas estratégicas en el largo plazo.

Desde un punto de vista técnico y tras más de 20 años de experiencia en actuaciones de recarga gestionada en Los Arenales, se han identificado una serie de impactos habituales a partir de los cuales se han elaborado una serie de tablas para la evaluación de impactos ambientales (EIA) y un corolario de soluciones tecnológicas en forma de binomios Problema-Solución (P-S). Estas tablas y corolarios, eminentemente pragmáticas, pretenden compartir las recomendaciones constructivas, operativas, de mantenimiento y monitoreo adquiridas en los lugares demostrativos objeto de estudio.

Los principales impactos identificados que requieren soluciones tecnológicas son:

- Impactos causados por la colmatación y otros procesos con influencia directa en la tasa de infiltración.
- La necesidad de técnicas para estudiar y mejorar la calidad del agua "in itinere".
- Falta de un estándar de calidad del agua para la recarga gestionada de acuíferos, excluyendo la calidad del agua regenerada. Falta de una Legislación sobre los límites de concentraciones máximas permitidas (CMA) a nivel de España.
- La necesidad de investigar los humedales artificiales y proveer soluciones basadas en la naturaleza.

Bajo la premisa de que "la técnica de recarga gestionada de acuíferos no es el problema a resolver, sino más bien el grupo de actividades para aumentar la eficiencia de su aplicación como componente de la gestión del agua, se han elaborado listas de chequeo de impactos directos e indirectos, agrupados según el alcance temporal de la actividad (etapas pre, durante y post operacional). Además, se han propuesto varias series de binomios problema-solución basadas en criterios de ingeniería (mejoras en los diseños) y en la evaluación del riesgo y del impacto ambiental. Se han diferenciado ocho grupos de binomios P-S, agrupados en relación con la (1) atmósfera (clima), (2) la cantidad del agua, (3) la calidad del agua, (4) el medio receptor, (5) aspectos operativos y de gestión, (6) la biodiversidad (flora, fauna y ecología), (7) el paisaje y (8) los aspectos socioeconómicos.

3.1. Resumen en inglés

Managed aquifer recharge (previously known as artificial recharge) is a water management technique consisting of the "intentional" recharge of water into aquifers, for subsequent use of water with improved quality usually in the short term, or for strategic reserves in the long term.

From a technical point of view and after more than 20 years of experience in managed recharge actions, a series of habitual impacts have been identified from which a series of tables for the evaluation of environmental impacts (EIA) and a corollary of technological solutions in the form of Problem-Solution (P-S) binomials have been elaborated. These tables and corollaries, eminently pragmatic, intend to share the constructive, operative, maintenance and monitoring recommendations acquired in the demonstration sites under study.

The main impacts identified that require technological solutions are:

- Impacts caused by clogging and other processes with direct influence on the infiltration rate
- The need for techniques to study and improve the quality of water *in itinere*.
- Lack of a water quality standard for the managed recharge of aquifers, excluding the quality of reclaimed water. Lack of legislation on the limits of maximum permitted concentrations (MCL) admitted at the level of Spain.
- The need to investigate artificial wetlands and provide nature-based solutions.

Under the premise that "the technique of managed aquifer recharge is not the problem to be solved, but rather the group of activities to increase the efficiency of its application as a component of water management, checklists of direct and indirect impacts have been elaborated, grouped according to the temporal scope of the activity (pre, during and post operational stages). In addition, several sets of problem-solution binomials have been proposed based on engineering criteria (design improvements), risk assessment and environmental impact. Eight groups of P-S binomials have been differentiated, grouped in relation to (1) atmosphere (climate), (2) water quantity, (3) water quality, (4) receiving environment, (5) operational and management aspects, (6) biodiversity (flora, fauna and ecology), (7) landscape and (8) socioeconomic aspects.

4. INTRODUCCIÓN

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

4.1. Antecedentes

El cuerpo de agua de los arenales, localizado en parte de las provincias de Segovia, Valladolid y Ávila mostró desde comienzos de los años 70 una clara tendencia decreciente en sus niveles piezométricos. Ante la amenaza de contar con escasos recursos hídricos para sus cultivos, regantes en el área del Carracillo promovieron la implementación de actividades de recarga gestionada de acuíferos (Comunidad de Regantes El Carracillo, 2006). Estos esfuerzos dieron sus frutos con el Real Decreto-Ley ley decreto 9/1998 (MAPA, 1998), mediante el cual se autorizaron recursos económicos y concesiones hídricas de los ríos Cega y Voltoya con el fin ejecutar la recarga gestionada del acuífero de Los Arenales en la Cubeta de Santiuste y el Carracillo.

En 2002 comenzó la operación de los sistemas MAR los lugares arriba mencionados y en 2012 se añadió un nuevo proyecto piloto, el de Alcazárén, el cual también provee de excedentes hídricos al acuífero de los arenales (F. Fernández-Escalante et al., 2019). Desde el comienzo de la recarga gestionada en Los Arenales y hasta el día de hoy se han venido realizando proyectos de I+D. Entre ellos cabe mencionar la tesis doctoral de Fernández-Escalante (2005), DINA-MAR (*Deep Investigation of New Activities for MAR*) (DINA-MAR, 2010; *Project DINAMAR | Tragsa*, n.d.), MARSOL (MAR Solutions) (*MARSOL | The Project*, n.d.), y actualmente, MARSoluT (MAR Solutions training Network) (*Home / MARSoluT*, n.d.; MARSoluT, 2018). El presente trabajo amplía los resultados de la EIA desarrollada en la tesis de Fernández-Escalante (2005) y los binomios Problema-Solución propuestos en el entregable 5-2 del proyecto MARSOL (MARSOL, 2016a).

5. METODOLOGÍA

5.1. Propuesta de un sistema de EIA para dispositivos de recarga gestionada

Los principales impactos ambientales relacionados a los dispositivos MAR estudiados fueron recopilados en forma de listas de chequeo a partir de las experiencias adquiridas en Los Arenales y especialmente la Cubeta de Santiuste (Fernández-Escalante, 2005). Las listas se han dividido de acuerdo a la fase en que los impactos se aplican, pudiendo ser pre, durante y post operacionales. Así mismo, los impactos fueron subdivididos de acuerdo a su zona de aplicación definiéndose dos categorías: la zona de actuación o área operacional (ZA) y la zona de intervención (ZI).

5.2. Soluciones tecnológicas propuestas en forma de binomios P-S

En primera estancia se identificaron los problemas más relevantes en los dispositivos MAR estudiados. Además, se tuvieron en cuenta dispositivos MAR en Madrid y Ciudad Real. Los problemas e impactos identificados fueron divididos en ocho categorías de acuerdo al componente principal al que atañen.

Posteriormente a los problemas encontrados se les asignaron soluciones basadas también en las experiencias de recarga gestionada en los sitios arriba mencionados. Estos binomios fueron compilados en tablas.

6. RESULTADOS

6.1. Propuesta de un sistema de EIA para dispositivos de recarga gestionada

Se trata de la primera de las aportaciones principales de este artículo, las matrices de impacto para dispositivos MAR disociadas por fases de actuación. Las listas de chequeo se han elaborado exprofeso para cubrir los objetivos medioambientales en dispositivos MAR. Se han propuesto cuatro tablas para una situación pre-, durante- y post- operacional. En general los signos del impacto son negativos, excepto cuando se especifica lo contrario. Los resultados se exponen en el anexo 1. Estas listas complementan los binomios agrupados según otros criterios ya mencionados.

A pesar de que las listas son lo más detalladas posible, algunos impactos potenciales no han sido considerados. Por lo tanto, estas listas deben considerarse "abiertas" esperando futuros aportes.

6.2. Soluciones tecnológicas propuestas en forma de binomios P-S

En el presente apartado se da una discusión general de los principales problemas y soluciones en cada uno de los ocho grupos definidos. Aunque los binomios provienen de la recarga gestionada en el acuífero de Los Arenales, los resultados son extrapolables a la mayoría de los dispositivos MAR y *Soil Aquifer Treatment* (SAT).

Los problemas y sus respectivas soluciones se han dividido en ocho grupos: (1) atmósfera (clima), (2) la cantidad del agua, (3) la calidad del agua, (4) el medio receptor, (5) aspectos operativos y de gestión, (6) la biodiversidad (flora, fauna y ecología), (7) el paisaje y (8) los aspectos socioeconómicos. Las tablas de binomios P-S desarrolladas se han agregado al anexo II.

1. Binomios P-S relacionados con la atmósfera (clima)

Los pronósticos detallados y fiables de las lluvias torrenciales y caudales son importantes para controlar el riesgo de desbordamiento. En Los Arenales, este riesgo se maneja principalmente de dos formas: abriendo los vertederos de control y permitiendo la abnegación de algunos campos. En este sentido también es importante la conservación y el mantenimiento de las estructuras de infiltración para evitar procesos de obstrucción (Fernández-Escalante, 2013).

Para obtener un suministro de agua más consistente ante lluvia eminentemente variable e impredecible, se recomienda el uso de estanques, zonas de césped, pavimentos porosos y humedales en las zonas de las cuencas hidrográficas de cara a la infiltración y retención de las aguas de tormenta (Tredoux et al., 2002).

Además, la escorrentía de aguas pluviales suele ser de calidad muy variable pudiendo incluir contaminación con vegetación en descomposición, lodos y otros materiales. En particular, en las zonas rurales, la carga contaminante de las tierras agrícolas puede incluir agroquímicos tales como plaguicidas y fertilizantes, así como materia fecal del ganado; lo que aumenta el riesgo de contaminación del acuífero y disminuye las tasas de infiltración. Para este tipo problemáticas se propone soluciones *in itinere*, tales como el uso de biofiltros en balsas y canales de infiltración.

2. Binomios P-S relacionados con la cantidad del agua

Un impacto relacionado a la cantidad de agua es la inundación, una grave amenaza que afecta a los cultivos y genera otros impactos socioeconómicos indeseables. En Los Arenales después de 18 ciclos de recarga intencionada, este fenómeno apenas se ha registrado. No obstante, ya se han desplegado algunas soluciones técnicas en las zonas de riesgo, como por ejemplo algunas estructuras de vertederos para desbordamientos, desvíos de agua (Figuras 6-2-1 a y b) y el uso de elementos existentes, como puede ser un arenero abandonado o un estanque de infiltración con miras al reciclaje de las aguas.

Otro riesgo latente relacionado a este componente es la disminución de las reservas de aguas subterráneas, al punto de no poder satisfacer la demanda de riego. En Los Arenales, bajo las condiciones actuales solo se podrían aguantar más de dos años de intensa sequía al ritmo actual de extracción. Este riesgo incrementa un poco si se tiene en cuenta que se prevé el aumento de la superficie de riego; así pues, el abastecimiento de agua para el riego no está garantizado al 100%.



Figura 6-2-1. Ejemplos de Alcazarén: a) aliviadero para desbordamiento y b) cabecera del canal 3.

Otras soluciones a destacar de cara a problemas de cantidad de agua es el re-uso de pozos abandonados, tubos conductores ranurados para lograr una recarga inducida "*in itinere*" y la conexión de pozos de zonas de baja permeabilidad a canales MAR con mejores tasas de infiltración.

3. Binomios P-S relacionados con la calidad del agua

El bombeo de agua desde acuíferos profundos y su posterior infiltración en acuíferos someros como retornos de regadío puede tener consecuencias negativas: el agua proveniente desde el acuífero profundo tiene una mayor alcalinidad, conductividad y salinidad que pueden afectar la calidad del agua en el acuífero somero además de generar reacciones con la matriz porosa. Este tipo de problemáticas se pueden encarar usando mejores prácticas en el regadío y la agricultura con miras a limitar los contaminantes en las aguas de retorno.

Otro aspecto a considerar en cuanto a calidad del agua es la introducción de sustancias orgánicas en los acuíferos a través de la descarga de aguas residuales y la colmatación. Respecto a esta última, la mala calidad del agua puede generar obstrucciones en las paredes y el fondo de las instalaciones de recarga, generando impactos drásticos en la capacidad de infiltración del sistema. Este impacto requiere un estudio detallado y constante control.

El pretratamiento del agua en los dispositivos MAR sigue siendo considerada la medida más eficaz para ampliar la vida útil de las instalaciones y mejorar la calidad del agua a infiltrar (Bouwer, 2002; Tredoux et al., 2002). La Solución técnica más aplicada durante el proyecto MARSOL en Los Arenales ha sido el esquema denominado "triplet" (MARSOL, 2016b). En este esquema el agua a infiltrar pasa por una estructura de estancamiento, un biofiltro verde y un humedal artificial, antes de retornar a las estructuras de recarga tales como balsas y canales. En la Cubeta Santiuste este tipo de esquema mejora la calidad del agua recuperada, mientras que en el distrito de El Carracillo, el "triplet", compuesto por un sistema de decantación con un biofiltro y un humedal artificial, es responsable de la disminución en la concentración de oxígeno disuelto en 0,3 ppm, gracias al efecto de las plantas estratégicamente distribuidas (Figura 6-2-2 a) a c)).



Figura 6-2-2. "Triplet" en el Carracillo compuesto por a) una balsa de infiltración, b) un biofiltro en el tramo de canal y c) una zona de tratamiento por lagunaje en un humedal artificial.

El pretratamiento del agua en sistemas MAR puede también realizarse por medio de pozos estrella o pozos con galerías giratorias de manera que funcionen, como un sistema de filtración de orilla de río

inverso (RBF por sus siglas en inglés). En el río Eresma (Cubeta de Santiuste) para este fin se emplea un pozo Ranney, que recoge el agua del río por medio de galerías horizontales y posteriormente la filtra haciéndola circular por la ribera. Finalmente, el agua se bombea y se transporta a una planta potabilizadora (Figura 6-2-3).



Figura 6-2-3. Pozo Ranney empleado en la técnica de RBF inverso en el río Eresma, Cubeta de Santiuste.

4. Binomios P-S relacionados con el medio receptor (suelo/acuífero)

La subida del nivel freático es un problema significativo cuando implica posibles impactos negativos sobre elementos socioeconómicos o ambientales, como por ejemplo inundaciones en cultivos, daños en las edificaciones por inundación de bodegas, etc. En el contexto de MAR, un inconveniente adicional originado por la subida del nivel del agua es el acortamiento de la zona no saturada, la cual juega un importante rol en la depuración del agua durante su percolación.

La presencia de nitratos y oxígeno en el agua de los sistemas MAR puede afectar el potencial de oxidación-reducción del medio subterráneo, disminuyendo la capacidad de reducción de los sedimentos del acuífero, de modo que los nitratos y ciertos plaguicidas pueden expandirse más hacia su interior, ya que su atenuación es menor en condiciones de oxidación (De Jonge et al., 2002).

Para lograr una correcta distribución del agua a lo largo de los dispositivos MAR y el acuífero subyacente, en Los Arenales se emplearon diversas técnicas, tales como campos de drenaje, estructuras de retorno de peces y elementos de almacenaje y gestión. Un ejemplo de estos elementos se encuentra en El Carracillo, donde una presa se emplea para controlar el nivel freático en un área que influye en el nivel de más de 100 pozos de bombeo (Figura 6-2-4). Esta solución tecnológica permite subir el nivel freático en el área circundante “aguas arriba” a necesidad, representando un ahorro en el consumo de energía para bombeo del 12 al 46% (MARSOL, 2016a).



Figura 6-2-4. Presa del MAR diseñada específicamente para controlar el nivel de base del acuífero.

5. Binomios P-S relacionados con la gestión y aspectos operativos

El cuanto a la operación y gestión, los impactos más significativos detectados corresponden a la colmatación, cuyo principal mecanismo de control es el pretratamiento. En este sentido, el diseño, control y gestión deben generarse de acuerdo a los problemas locales, el estudio detallado de los procesos de colmatación, el clima y las características de cada sistema.

Además, los sistemas MAR deben contar con indicadores y parámetros cuantificables que permitan evaluar la eficacia de las medidas planteadas y corregirlas en caso de ser necesario. Algunos métodos para la operación y gestión incluyen:

- Construcción de estanques de sedimentación aguas arriba de las instalaciones de infiltración con el fin de que las partículas finas se sedimenten antes de pasar a las zonas de recarga.
- En el caso de pozos de percolación, los requisitos en la calidad del agua tienden a ser particularmente altos, pudiéndose requerir filtración de arena y desgasificación, así como desinfección.
- Las aguas residuales con altas cargas de nutrientes deben ser infiltradas mediante ciclos de infiltración y secado, que permiten la remoción de contaminantes tales como algunas fases nitrogenadas (Bouwer, 2002).
- La remoción periódica de los sedimentos en el fondo de las estructuras de infiltración, con el fin de aumentar las tasas de infiltración y evitar que el material fino penetre a mayor profundidad en el suelo.

Los costos de estos programas de gestión y mantenimiento deben ser que ser satisfechos y justificados en función de los beneficios del agua infiltrada. Si la estructura de recarga es una empresa comunal, los que más se benefician deberían asumir un mayor costo.

Aunque la mayoría de los binomios P-S relacionados con el pretratamiento del agua han sido expuestos en la sección de calidad del agua, algunos de estos polinomios están relacionadas con la gestión, como por ejemplo, la estructuras de retención e infiltración en balsas y canales de infiltración (Figura 6-2-5), el empleo de filtros de arenilla y grava en la cabecera del sistema y los filtros de lodo para controlar el pH.



Figura 6-2-5. Estructuras de retención e infiltración en El Carracillo.

Otros criterios de gestión que deben tenerse en cuenta son la profundidad de alerta recomendada o posición más alta del nivel freático sin poner en peligro bosques, cultivos, aumentar el riesgo de inundación, etc.), establecida en 1,5 m. Con respecto a las tasas de infiltración en la Cubeta de Santiuste, los máximos valores en los canales se producen con caudales cercanos a los 200 l/s. Además, el espesor de la lámina de agua más óptimo en las balsas de infiltración es de unos 140 cm para conseguir los mejores resultados (Fernández-Escalante, 2014) (Fernández-Escalante et al., 2009).

En cuanto a las abstracciones para riego, la gestión más adecuada implica el uso conjunto y coordinado de recursos hídricos superficiales y subterráneos.

Para el mantenimiento de las balsas de infiltración, se considera importante mantener un acceso a las mismas (Figura 6-2-6a) y limpiar el fondo ocasionalmente mediante arado (Figura 6-2-6b) o reemplazo de arena con finos por arena limpia. También es posible que las raíces de algunas plantas ayuden a mantener las tasas de infiltración, concepto en investigación en el marco del proyecto que ha sustentado esta propuesta (Figura 6-2-6c).



Figura 6-2-6. a) rampa de acceso para las operaciones de mantenimiento, b) fondo arado en una balsa de infiltración en Santiuste; balsa de infiltración con vegetación que podría mejorar la tasa de infiltración.

En cuanto a los canales de infiltración, el mantenimiento implica principalmente la remoción biomasa. (Figuras 6-2-7).



Figura 6-2-7. Operaciones de limpieza y mantenimiento en el canal occidental de la Cubeta de Santiuste en 2015.

Otras técnicas aplicadas en aspectos operativos es el cerrado de la válvula de desviación en la zona de captura, con el fin de evitar la entrada a los canales de agua con alta carga de sólidos, caudales pico durante las inundaciones y minimizar la precipitación de calcita en períodos de congelación.

6. Binomios P-S relacionados con la biodiversidad (flora, fauna, ecología)

En Los Arenales el binomio P-S más destacado está relacionado a la desaparición progresiva de los humedales, cuya profundidad disminuye naturalmente a medida que se acerca el verano. En las últimas décadas el aumento de los cultivos agrícolas en las zonas aledañas ha aumentado la amenaza para estos ecosistemas por extracciones de agua, tanto directas como indirectas, y por subsidencia debido al uso de aguas subterráneas. Los humedales más relevantes en el área son las lagunas saladas cercanas a Villagonzalo de Coca, cuyas características ecológicas son únicas a nivel europeo, con presencia de minerales muy escasos, e.g. trona y albergando microorganismos y especies botánicas de alto valor ecológico. Estos ecosistemas son en buena medida sustentados por la rica composición elemental del agua, la cual proviene de largos flujos regionales.

De cara a mejorar esta situación, y por cuestiones logísticas y técnicas, se decidió concentrar los esfuerzos en restaurar uno de estos cuerpos de agua superficial, el de La Iglesia, el cual se encuentra en las cercanías de uno de los canales de infiltración en la Cubeta de Santiuste. La solución empleada consiste en usar parte del flujo desviado del Río Voltoya para depositarlo en este humedal. Así, el agua

proveniente de este dispositivo tiene el tránsito necesario para mineralizarse antes de llegar al cuerpo de agua superficial y así evitar introducir aguas de carácter alcalino con diferencias significativas en el pH y la conductividad eléctrica que podrían perjudicar la biota allí existente.

7. Binomios P-S relacionados con el paisaje

En Santiuste y Carracillo se han venido aprovechando beneficios derivados de los sistemas MAR con fines paisajísticos y recreativos. Los humedales artificiales Sanchón, aparte de constituir un nicho para la restauración de los ecosistemas locales, se han convertido en un punto de interés visual, paisajístico y de recreo. El uso de vallas de madera y el reacondicionamiento del entorno han convertido estas zonas en una serie de parques de senderismo en medio de centros rurales donde casi la totalidad del paisaje se compone de plantaciones de pino, parcelas de regadío y cultivos de secano. En este sentido la recarga gestionada de acuíferos pasa a formar parte de la población como un sistema de riego útil, para mejorar ciertos aspectos medioambientales, y también como creadora de puntos de recreo.

8. Binomios P-S relacionados con aspectos socio-económicos

Aunque las comunidades de regantes están adquiriendo una mayor influencia en la toma de decisiones, las concesiones y permisos definitivos siguen estando controlados por las autoridades de aguas, que además actualizan el registro de los usuarios, reciben información permanente sobre el agua almacenada en los acuíferos y controlan los volúmenes de agua empleados en los dispositivos MAR.

Un binomio relevante en este sentido es la solución al problema de contaminación de las aguas subterráneas, especialmente por nitratos. En este sentido, los agricultores han tomado conciencia, dosificando menores cantidades de fertilizantes a sus cultivos.

7. DISCUSIÓN

De acuerdo con los impactos inicialmente identificados en Los Arenales, se puede deducir que la palabra clave para justificar la situación actual es "irrigación". Algunas referencias bibliográficas afirman que la agricultura de regadío como se venía practicando antes de la implementación de los sistemas MAR trajo consigo una sobreexplotación del acuífero, modificando las condiciones hidrogeológicas. Un reflejo de ello es el hecho de que el nivel freático mostró una disminución entre el 50 y el 60% de su valor original. Importantes cambios se produjeron en las zonas de descarga, con la desaparición o encogimiento de humedales, lagos salados y la mayoría de los manantiales. Además, algunas zonas del acuífero se desconectaron hidráulicamente de otras (IRYDA, 1991).

El regadío es una actividad cuyo impacto ambiental debe ser balanceado, considerando tanto los impactos positivos, relacionados con el desarrollo rural, y los negativos, que son principalmente de carácter ambiental. El resultado es una secuencia de efectos primarios, destacando los cambios en la humedad del suelo, el estrés hídrico de la vegetación acuática y los cambios en los patrones hidrodinámicos de los cuerpos de agua. También cabe mencionar los cambios secundarios, como la sustitución de las comunidades vegetales, la erosión del suelo, el arado de nuevas zonas, incluso de humedales drenados y/o desecados en los años 50, con pérdida de su función y valor principal (Fernández-Escalante, 2005).

El uso de las tablas de impactos ambientales propuestas, y los binomios problema-solución, pueden ser combinados de cara a evaluar nuevos proyectos o mitigar algunos de los impactos generados por el regadío. Un ejemplo es el proyecto MAR en Alcazárén, cuya operación comenzó 10 años después que en La Cubeta de Santiuste y El Carracillo. En el inicio de este proyecto se consideraron los posibles

impactos ambientales, y conjuntamente, se identificaron sinergias. Para ambos, se buscaron opciones y se definieron soluciones basadas la naturaleza y en experiencias previas (Tabla 7-1).

Tabla 7-1: Binomios Problema-Solución considerados en la toma de decisiones durante el diseño del Sistema de Recarga gestionada de Alcazarén.

Paso	Problema	soluciones (posibles)	Solución (adoptada)
1*	Escasez de agua (regadío)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de agua subterránea (Los arenales/otro acuífero) • Agua superficial (excedentes en invierno) • Agua residual tratada (PTAR) 	Agua superficial (Río Eresma) y Agua residual tratada (PTAR Pedrajas)
2*	Desviar agua del río	<ul style="list-style-type: none"> • Directamente del río • Presa de desviación (preexistente) 	Presa de desviación (Río Eresma) y RBF
3	Almacenamiento de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Superficial (alta evapotranspiración y uso del terreno) • Subterráneo 	Subterráneo
4	Transporte del agua (estructura)	<ul style="list-style-type: none"> • A través del acuífero (posibles barreras impermeables) • Canal/tubo (alto costo y difícil trazado de una ruta) 	Tubería y canal (13,825 m)
5	Transporte del agua (captura)	<ul style="list-style-type: none"> • Bombeo (altos costos energéticos) • Gravedad (ubicación lejana) 	Gravedad
6*	Distribución del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Canales • Tuberías • A través de acuífero 	Mixto: canales, tuberías, a través del acuífero
7	Método de recarga	<ul style="list-style-type: none"> • Inyección • Infiltración 	Infiltración
8	Medios de infiltración	<ul style="list-style-type: none"> • Canales • Reservorios 	Canales y reservorios
9	Red de infiltración	<ul style="list-style-type: none"> • Nueva (altos costos) • Canales preexistentes 	Canales preexistentes
10*	Extracción de los recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Estanques (dificultades en la distribución) • Pozos (altos costos energéticos/uso privado) 	Pozos
11	Uso del recurso	<ul style="list-style-type: none"> • Regadío • Abastecimiento público • Ambiental • Industrial 	Regadío y Ambiental
12	Riesgo de inundación	Control integral	Aliviaderos y llanuras de inundación controlada (campos de extensión)
13*	Deseccación de humedales	<ul style="list-style-type: none"> • Recreación • Restauración 	Recreación

8. CONCLUSIONES

El enfoque de la Evaluación de Impacto Ambiental muestra la doble cara de MAR como actividad antrópica. Las diversas técnicas englobadas dentro de este término buscan resolver problemas a la vez que generan otros. No obstante, muchos de los posibles impactos negativos pueden ser mitigados eligiendo soluciones propias de los sistemas MAR.

En cuanto a los binomios P-S y la calidad del agua, el factor más importante es el pretratamiento. Cuanto mayor es la calidad del agua de la fuente, mejores tienden a ser los resultados.

Dentro de los aspectos operativos y de gestión, cabe resaltar la importancia de llevar a cabo actividades en el medio receptor de cara a mantener la tasa de infiltración y prolongar la vida útil de las instalaciones. Además, es vital definir y monitorear parámetros de gestión para así comprobar el correcto y óptimo funcionamiento del sistema.

Un elemento a resaltar de los sistemas MAR es su gran adaptabilidad y por tanto facilidad con que pueden incorporar estructuras preexistentes mayoritariamente para fines de infiltración, como por ejemplo canteras, minas, areneros, zanjas y pozos. Además, algunas de estas estructuras pueden convertirse en sitios de diversidad ecológica, como es el caso de los humedales artificiales. En esta misma línea, el bajo costo de la reutilización de la infraestructura preexistente, en ocasiones el menor uso del terreno (almacenamiento subterráneo), así como el uso de gravedad para transportar e infiltrar agua, son aspectos que reducen costos y hacen este tipo de proyectos viables desde una perspectiva económica.

La experiencia en Los Arenales ha permitido constatar que si bien hay impactos negativos, en general, los beneficios los superan. De esta forma, se considera importante difundir casos exitosos que puedan ser de utilidad en el planeamiento y la gestión de los sistemas MAR.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Bouwer, H. (2002). Artificial recharge of groundwater: Hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 121–142. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0182-4>
- Comunidad de Regantes El Carracillo. (2006). C.R. *El Carracillo: Historia de la Comunidad de Regantes*. <http://www.regantesdelcarracillo.es/historia.htm>
- De Jonge, H. J., Kortleve, M. W., & Frapporti, G. (2002). Sustainable use of aquifer for artificial recharge in South-Holland. *Management of Aquifer Recharge for Sustainability. Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater*, 8. <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781003078838/chapters/10.1201/9781003078838-10>
- DINA-MAR. (2010). *DINA-MAR: La gestión de la recarga de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible : desarrollo tecnológico*. GRAFINAT.
- Fernández-Escalante, E. (2005). *Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste, Segovia*. Universidad Complutense de Madrid.
- Fernández-Escalante, E. (2013). Practical Criteria in the Design and Maintenance of MAR Facilities in Order to Minimise Clogging Impacts Obtained from Two Different Operative Sites in Spain. In R. Martin (Ed.), *Clogging Issues Associated with Managed Aquifer Recharge Methods* (p. 214). IAH commission on Managing Aquifer Recharge.
- Fernández-Escalante, E. (2014). *Una década de recarga gestionada, Acuífero de la Cubeta de Santiuste (Castilla y León)*. Tragsa Group.
- Fernández-Escalante, F., San Sebastián-Sauto, J., & Lago-Villanueva, M. (2019). Reclaimed water quality improvement by means of MAR and nature based solutions from local industrial reuse. The Alcazarén-Pedrajas, system, Valladolid (Spain). *Proceeding of the Symposium ISMAR 10*,

322–331. https://www.ismar10.net/wp-content/uploads/2019/11/ISMAR10-procs-book_EF.pdf

Home / MARSoluT. (n.d.). Retrieved 20 October 2020, from <https://www.marsolut-itn.eu/>

IRYDA. (1991). *Proyecto de Asistencia Técnica para el Estudio Hidrogeológico de la Cubeta de Santiuste (Segovia)*. (Unpublished Technical Report). IRYDA-ITGE.

MAPA. (1998). *Real Decreto-Ley 9/1998, de 28 de agosto, por el que se aprueban y declaran de interés general determinadas obras hidráulicas*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente - Agencia Estatal Meteorológica.

MARSOL. (2016a). *Appropriate MAR methodology and tested knowhow for the general rural development* (Deliverable D5.3; MARSOL Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought, p. 171). MARSOL.

MARSOL. (2016b). *Managed Aquifer Recharge to Combat Groundwater Overexploitation at the Los Arenales Site, Castilla y León, Spain* (Deliverable D5.4; MARSOL Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought, p. 70). MARSOL. http://www.marsol.eu/files/marsol_d5-4_arenales-final.pdf

MARSOL | *The Project*. (n.d.). Retrieved 16 January 2020, from <http://www.marsol.eu/32-0-The-Project.html>

MARSoluT. (2018). *Innovative Training Networks (ITN) Call: H2020-MSCA-ITN-2018*. 17.

Project DINAMAR | Tragsa. (n.d.). Retrieved 20 October 2020, from https://www.tragsa.es/_layouts/GrupoTragsa/Ficha-Proyecto.aspx?param=ENG.0000000136

Tredoux, G., Cavé, L. C., & Bishop, R. (2002). Long-term stormwater and wastewater infiltration into a sandy aquifer, South Africa. *Management of Aquifer Recharge for Sustainability. Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater*, 6. <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9781003078838/chapters/10.1201/9781003078838>

10. ANEXO I: LISTADOS DE CHEQUEO DE IMPACTOS MEDIOAMBIENTALES EN DISPOSITIVOS MAR

Las presentes listas han sido diseñadas en base al conocimiento del sitio de demostración de Los Arenales y modificadas de [6].

10.1. Fase preoperacional

Esta lista de chequeo de impactos se ha diseñado para zonas donde se pretenden llevar a cabo operaciones MAR con objetivos medioambientales.

Tabla 10-1: Listado de chequeo de impactos en dispositivos MAR. Fase pre-operacional. ZA corresponde a la zona de actuación, ZI a la zona de intervención (+) a impactos positivos y (-) a impactos negativos.

IDENTIFICACIÓN	CHECK
Presencia de humedales hidrodépendientes de las aguas subterráneas (acuíferos) (ZI y ZA)	
Alteraciones en las pautas hidrodinámicas de la red de drenaje superficial y láminas de agua hipogénicas (ZI y ZA).	
Regadío con aguas subterráneas (ZI y ZA).	
Incremento en los costes de extracción de aguas por descenso del nivel freático (ZA).	
Empleo de fertilizantes (ZA).	
Empleo de pesticidas (ZA).	
Empleo de purines (ZA).	
Empleo de otros compuestos orgánicos (ZA).	
Presencia de vectores orgánicos (ZI).	
Presencia de contaminación difusa (ZI y ZA).	
Incremento de la erosión del suelo (ZA).	
Erosiones de las orillas de los humedales (ZI y ZA).	
Introducción de especies animales exóticas (ZI).	
Introducción de especies vegetales exóticas (ZI).	
Presencia de cultivos alrededor (ZA).	
Prácticas agrícolas en las zonas de recarga (ZI).	
Laboreo (ZA).	
Drenajes (ZA).	
Vertido de residuos líquidos urbanos (ZA).	
Vertido de residuos sólidos urbanos (ZA).	
Vertido de residuos ganaderos (ZI y ZA).	
Existencia de EDAR (ZI). (+).	
Alteración de la vegetación hidrófila (ZA).	
Manifestaciones de estrés hídrico en las especies vegetales (ZA).	
Introducción de nuevas especies (cultivos o fauna) (ZI).	
Carga ganadera (ZI y ZA).	
Uso como abrevadero (ZA).	
Pastoreo (ZA).	
Excavaciones (ZA).	
Movimientos de tierras (ZA).	
Presión recreativa (ZA).	

IDENTIFICACIÓN	CHECK
Rellenado (ZA).	
Extracciones de agua (ZA).	
Vertido indirecto de agroquímicos (ZI y ZA).	
Vertido indirecto de pesticidas (ZI y ZA).	
Extracciones de áridos para construcción (ZA).	
Regulación hídrica (ZI y ZA). (-/+).	
Regulación de actividades (ZI y ZA). (+).	
Caza (ZA).	
Pesca (ZA).	
Fines recreativos (ZA).	
Fines medicinales (ZA).	
Monocultivos (pinares para explotación maderera y/o resinera, etc.) (ZI y ZA).	
Tensiones sociales al entrar intereses en competencia (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Sobreexplotación de las especies piscícolas (ZA).	
Intrusiones técnicas (ZA). (-/+).	
Drenaje de humedales (ZI y ZA).	
Drenaje de cursos de agua superficiales (ZI y ZA).	
Drenaje en la zona de recarga (ZI y ZA).	
Presencia de construcciones (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Edificaciones (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Carreteras (ZI y ZA, especialmente ZA).	
Vías ferroviarias (ZA).	
Acequias (ZI y ZA).	
Canalizaciones (ZI y ZA).	
Canales (ZI y ZA).	
Otras conducciones (ZI y ZA).	
Extracciones de áridos en la zona de recarga (ZI y ZA).	
Actividad minera o canteras (ZI y ZA).	
Sobreexplotación de recursos (ZI y ZA).	
Presencia de procesos contaminantes (ZI y ZA).	
Contaminación química (ZA).	
Contaminación térmica (ZA).	
Contaminación por metales pesados (ZI y ZA).	
Contaminación por lluvia ácida (ZI y ZA).	
Densidad de habitantes en la cuenca de recepción (ZA), (-/+).	
Desecación o reducción de caudales en manantiales (ZI y ZA).	
Reducción de la productividad en captaciones (ZA).	
Cambios en las relaciones aguas subterráneas / aguas superficiales (ZI y ZA), (-/+).	
Nuevas canalizaciones (ZA). (+).	
Nuevos cauces (ZI y ZA).	
Incremento de la EV, como componente del ciclo hidrológico, en una zona concreta (ZA).	
Posible conexión estratos en acuíferos multicapa al desaturar un contacto lateral (ZA).	
Presencia de captaciones profundas con descuelgue de aguas superficiales (ZI y ZA).	
Indicios de reciclaje por retornos de riegos (ZA), (-/+).	
Indicios de recirculación (ZA).	
Eficiencia en el regadío (ZI y ZA), (+).	
Incremento de la colmatación en humedales y depresiones endorreicas (ZI y ZA).	
Presencia de sinergismos (ZI y ZA).	

10.2. Fase operacional

Durante la fase constructiva de dispositivos MAR, la lista de chequeo de impactos, con especificación del área de influencia y signo del impacto, se presenta en la tabla 10-2.

Tabla 10-2: Listado de chequeo de impactos en dispositivos MAR. Fase operacional. ZA corresponde a la zona de actuación, ZI a la zona de intervención (+) a impactos positivos y (-) a impactos negativos.

IDENTIFICACIÓN	S/N
Existencia de perímetro de protección. (ZA), (-/+).	
Urbanización dentro del perímetro de protección, (ZA).	
Incremento del volumen de agua almacenado en el acuífero (ZA), (+).	
Modificaciones en la calidad de las aguas del acuífero (ZA), (+/-).	
Incidencia en el medio de las estructuras de recarga (ZA), (-).	
Inundaciones puntuales por razones topográficas (ZA), (-).	
Frecuencia de inundaciones por razones meteorológicas (ZI/ZA), (-).	
Colmatación de las paredes y fondo del caz de recarga (ZA), (-).	
Compactación de los limos del lecho (ZA), (-).	
Altura de la lámina de agua (ZA), (-).	
Descenso de la permeabilidad del lecho por decantación de partículas finas (ZA), (-).	
Erosión de los taludes (ZA), (-).	
Desprendimientos/deslizamientos en taludes (ZA), (-).	
Tránsito de tractores y maquinaria agrícola (ZA), (+/-).	
Variación del régimen hídrico de la red fluvial global (ZI y ZA), (-).	
Evolución de la calidad de las aguas (ZA), (+).	
Evolución de la contaminación difusa (ZA), (+).	
De los metales pesados (ZI y ZA), (+/-).	
De la salinidad (ZA), (+).	
De la alcalinidad (ZA), (+/-).	
De los vectores contaminantes orgánicos (ZA), (+).	
Estratificación hidroquímica en la en ZNS (ZA), (-).	
Movilización de fuertes concentraciones de iones salinos de lagunas fosilizadas, lentejones, etc. (ZI y ZA), (-).	
Efecto de descuelgue a través de sondeos profundos (ZA), (-).	
Reciclaje de las aguas (ZA), (-).	
Concurrencia de fuertes precipitaciones durante las labores de recarga artificial (ZA), (-).	
Impacto ambiental generado como consecuencia de la colmatación del caz (ZA), (-).	
Afecciones indirectas a elementos ambientales (ZI y ZA), (-).	
Impactos socioeconómicos por ascenso del nivel del agua (ZA), (-/+).	
Bodegas (ZA), (-).	
Cementerios (ZA), (-).	
Pasos bajo vías de comunicación (ZA), (-).	
Vías de comunicación (ZA), (+/-).	
Impactos derivados de cambios de usos del suelo (ZA), (+/-).	
Forestaciones (ZA), (-).	
Repoblaciones (ZA), (-).	
Tipo de vegetación (ZA), (-).	
Arbórea.	
Arbustiva.	
Herbácea.	
Perenne (-).	

IDENTIFICACIÓN	S/N
Caducifolia.	
Generación de condiciones oxidantes por embalsamiento (ZA), (-).	
Generación de eutrofización por embalsamiento (ZA), (-).	
Generación de unas condiciones hídricas perturbadas (ZI y ZA), (-).	
Contratiempos técnicos y jurídicos (ZA), (-).	
Impacto en la vegetación nativa (ZA), (-).	
Afección del ascenso del nivel freático en las raíces (ZA), (-).	
Problemas de financiación (ZA), (-).	
Impactos inherentes a la construcción del caz de AR (ZA), (-).	
Expropiaciones (ZA), (+/-).	
Movimiento de tierras (ZA), (-).	
Desmontes y terraplenes (ZA), (-).	
Compactación de tierras (ZA), (-).	
Transporte de materiales (ZA), (-).	
Movimiento de maquinaria pesada (ZA), (-).	
Acopio de materiales (ZA), (-).	
Vertido de desechos (ZA), (-).	
Efecto barrera por creación de estructuras lineales con pasos elevados (ZA), (-).	
Tendido de la tubería de conducción (ZA), (-).	
Construcción del azud y del canal de recarga (ZA), (-).	
Construcción de otras obras de fábrica (ZA), (-).	
Tendido de cables eléctricos (ZA), (-).	
Residuos generados (ZA), (-).	
Temporales.	
Permanentes:	
Trabajos de conservación (fase de explotación) (ZA), (-).	
Humos.	
Ruidos.	
Polvo.	
Etc.	

10.3. Fase post-operacional

Después de terminar la construcción, la lista de chequeo de impactos dentro de un área sujeta a operaciones MAR, con especificación del área de influencia y signo del impacto se presenta en la tabla 10-3.

Tabla 10-3: Listado de chequeo de impactos en dispositivos MAR. Fase post-operacional. ZA corresponde a la zona de actuación, ZI a la zona de intervención (+) a impactos positivos y (-) a impactos negativos.

IDENTIFICACIÓN	S/N
Aprovechamiento de recursos hidráulicos excedentes (ZI), (+).	
Formación de nuevas comunidades vegetales y faunísticas en torno al azud (ZA), (-/+).	
Creación de nuevos humedales. (ZI y ZA), (+).	
Modificación del paisaje en torno al azud (ZA), (-/+).	
Recuperación de humedales en la zona de recarga. (ZI y ZA), (+).	
Rentabilización de las inversiones en instalaciones electromecánicas de los pozos de la zona (ZA), (+).	
Recuperación del nivel económico (ZI y ZA), (+).	
Estabilización de la población en las zonas rurales afectadas (ZI y ZA), (+).	
Modificación del régimen fluvial del río Voltoya (ZI y ZA), (-).	
Modificación del nivel freático del río. (ZI y ZA), (-).	
Alteración de cubierta vegetal en la zona ocupada por el azud. (ZI y ZA), (-).	
Ocupación permanente por la conducción de suelos con especies arbóreas de raíz profunda (ZA), (-/+).	
Perturbación de las comunidades faunísticas. (ZI y ZA), (-).	
Alteración de la cubierta vegetal en dispositivos (ZI y ZA), (-).	
De conducción.	
De distribución.	
De pretratamiento.	
Etc. (-).	
Problemas de colmatación de los dispositivos de recarga (ZA), (-).	
Producción de residuos de obra como consecuencia del mantenimiento (ZA), (-).	
Actividades de limpieza y mantenimiento en la vía de servicio (ZA), (-).	
Generación de residuos (ZA), (-).	

10.4. Listado de chequeo simplificado

Las dos tablas siguientes representan un carnet de identidad para identificar los dispositivos MAR y los impactos potenciales mayores, tanto en los propios dispositivos como en los humedales relacionados, bien sean naturales o artificiales.

Tabla 10-4: Lista de chequeo simplificada de impactos en dispositivos MAR y humedales.

IMPACTOS ACTUALES
Afección a las redes de drenaje, al curso de los ríos y sus márgenes y régimen de funcionamiento (-).
Impacto paisajístico (-).
Incremento de la evapotranspiración total (-).
Posibilidad de conectar estratos en acuíferos multicapa (-).
Descuelgue de agua de los niveles más superficiales hacia los inferiores del acuífero regional a través de sondeos, con efecto de reciclaje (-).
Reducción de caudales en manantiales, zonas de drenaje y captaciones (-).
Cambios en las relaciones aguas subterráneas / aguas superficiales, por generación artificial de nuevas canalizaciones y cauces (-).
Problemas geotécnicos diversos (como hundimientos, desprendimientos en taludes, colapsos, etc.)(-).
Incrementos de la turbidez, salinidad, sólidos en suspensión, Carbono orgánico disuelto (COD), así como en la temperatura del agua, con incidencia en la flora y fauna (-).
Afecciones a los cultivos por incremento de alcalinidad y salinidad en aguas subterráneas (-).
Movilización de fuertes concentraciones de iones salinos presentes en el medio (-).
Interacción con vectores orgánicos introducidos por el vertido de aguas residuales y de animales muertos enterrados en zona no saturada (ZNS) que se convierte en zona de oscilación (-).
Alta concentración de nitratos y nitritos en zonas puntuales del acuífero (-).
Alta concentración de metales pesados (arsénico y derivados alquílicos) en zonas puntuales del acuífero superficial (-).
Desplazamiento de las especies sensibles a favor de especies más tolerantes, como el carrizo, por efecto de los procesos contaminantes (-).
Desplazamiento de ciertas comunidades faunísticas (-).

Tabla 10-5: Lista de chequeo simplificada: impactos medioambientales para escenarios futuros en dispositivos MAR y humedales.

POSIBLES IMPACTOS FUTUROS
Inundación de tierras de cultivo y la anegación de las estructuras de recarga ante fuertes precipitaciones (-).
Colmatación progresiva de los dispositivos (-).
Impacto sociocultural (+/-).
Recuperación del nivel económico y estabilización de la población en las zonas rurales afectadas (+).
Impacto en el entorno eco-ambiental (-).
Aprovechamiento de recursos hidráulicos excedentes (+).
Formación de nuevas comunidades vegetales y faunísticas en torno al azud (+).
Creación de nuevos humedales artificiales (+).
Modificación del paisaje en torno al azud, por efecto de la presencia de la lámina de agua (+).
Recuperación de humedales en la zona de recarga del acuífero (+).
Rentabilización de las inversiones en instalaciones electromecánicas de pozos de la zona (+).
Aterramiento de canales, presas, cauces artificiales y/o naturales (-).
Modificación del régimen fluvial del río Voltoya (-).
Modificación del nivel freático del río incidiendo en la vegetación de ribera (-).

Necesidad de realizar expropiaciones (-).
Compactación de los limos del lecho del caz de recarga y disminución de la permeabilidad (-).
Colmatación y erosión de los taludes del caz (-).
Alteración de la cubierta vegetal en la conducción (-).
Efecto barrera por creación de estructuras lineales con pasos elevados (-).
Perturbación a ciertas comunidades faunísticas (-).
Introducción de elementos extraños en el medio en la zona de la obra de toma, conducción y caz de recarga, como hormigón, como ladrillos, módulos prefabricados de hormigón, tubería de fibrocemento, acero corrugado para armaduras, etc. (-).
Introducción de elementos extraños complementarios a la obra, como un camino de servicio al lado del canal, pasos elevados, etc. (-).
Impacto paisajístico (-).
Producción de residuos de obra temporales y permanentes
Movimiento de tierras, desmontes, terraplenes, compactación por maquinaria pesada (-).
Aumento de la concentración de ion sodio motivada por la circulación de agua entre los distintos estratos de un acuífero multicapa y su concentración en las zonas más deprimidas de la <i>Cubeta</i> (-).
Inundación de tierras de cultivo y la anegación de las estructuras de recarga ante fuertes precipitaciones (-).

11. ANEXO II: LISTADOS DE BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN (P-S) EN DISPOSITIVOS MAR

11.1. Binomios P-S relacionados con la atmósfera (clima)

Los microclimas afectan a las condiciones del acuífero regional, especialmente en lo que respecta a su distribución entre la escorrentía y la infiltración. De esta manera, como consideración de procedimiento, los modelos de simulación deben considerar la distribución de la precipitación según el tipo de vegetación, el suelo y el clima.

Tabla 11-1: Binomios P/S relacionados con el clima

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ARENALES DEMO SITE		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
CLIMA	Aspectos relativos a la atmósfera (clima)	- Dependencia excesiva de las condiciones climáticas para que funcionen las instalaciones de MAR	- Búsqueda de fuentes de agua alternativas	- El agua recuperada de las plantas de tratamiento de aguas regeneradas podría ser una opción importante. Es necesario asegurar su calidad e inocuidad para el medio ambiente
		- Escasez de agua y efectos del cambio climático y vulnerabilidad en la agricultura de riego	- Técnicas MAR para aumentar la capacidad de almacenamiento del acuífero y, por lo tanto, el uso de los excedentes de recursos hídricos para el riego	- La mayoría de las proyecciones del cambio climático prevén un aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones, con la consiguiente reducción de la disponibilidad de recursos hídricos, reducción de la disponibilidad de agua y aumento de la demanda para riego
		- Concurrencia de fuertes lluvias durante las actividades MAR.	- Reducir el flujo de entrada y el control de la velocidad del agua, estudios detallados de la microclimatología y gestión de las compuertas y aliviaderos.	- La presencia de precipitaciones elevadas durante el período en que la capacidad de infiltración del acuífero es menor, da lugar a la inundación de las tierras de cultivo, a pérdidas de cosechas, a la inundación de las estructuras de recarga que reciben enormes cantidades de sedimentos movilizados por la erosión, a la obstrucción de dispositivos, al deterioro de los dispositivos MAR y, en última instancia, bajada de la capacidad de infiltración.

11.2. Binomios P-S relacionados con la cantidad del agua

La cantidad de agua es uno de los vectores ambientales más importantes en relación con las actividades MAR. Implica aspectos relacionados con la dependencia de las aguas pluviales, la garantía de abastecimiento de agua, las condiciones de almacenamiento, el nexo agua-energía y la ventaja de los sistemas pasivos (los que no requieren electricidad para funcionar) sobre los activos. Su gasto en energía podría ser inviable en algunos casos en el largo plazo. También incluye los eventos extremos relacionados con el agua, como las inundaciones y las sequías. La cantidad de agua es la mayor preocupación de los usuarios finales, no tan sensibilizados con la calidad mientras el uso final sea el riego.

Tabla 11-2: Binomios P/S relacionados con la cantidad del agua

BINOMIOS P-S		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
CANTIDAD DE AGUA	Aspectos relacionados con la cantidad de agua (ya sea superficial o subterránea)	- Escasez de agua subterránea debido a la sobreexplotación del acuífero	- Búsqueda de derivación de fuentes de agua alternativas	- Fuentes de toma alternativas a distancia razonable y con una calidad apropiada
		- Almacenamiento de grandes volúmenes de agua para ser pretratados	- La construcción de presas en los ríos con un diseño y una posición específicos	- Presas diseñadas para trabajar por gravedad a lo largo de toda la red (sistema pasivo) con control manual de la válvula y por ende del nivel del agua, con facilidad para limpiar la deposición de lodos y filtros anti-peces...
		- Sistemas de almacenamiento de agua, ya sea en la superficie o bajo tierra	- Combinación de ambos, prestando especial atención al almacenamiento subterráneo	- El almacenamiento en el acuífero no ocupa ningún espacio adicional y no tiene problemas de evaporación, sólo de infiltración a estratos más profundos
		- Transporte de agua por tuberías/canales/zanjas	- Sistema integrado que combina balsas, canales y desarrollos a la carta	- Las conducciones de agua deben ser seleccionadas de acuerdo con las condiciones ambientales. La opción no es sólo entre tuberías y canales, también la naturaleza de las tuberías es clave
		- El sistema no puede ser 100% pasivo y requiere costos de bombeo	- Estaciones de bombeo para usos ocasionales	- Las presas en el río se colocaron después de un estudio detallado para que el agua fluyera por gravedad. Algunas áreas específicas requirieron bombeo y las instalaciones necesarias se construyeron bajo la premisa de utilizarlas sólo en caso de extrema necesidad
		- Instalar instalaciones de energía solar en relación con el nexo agua-energía	- Cálculos sobre cuánta energía se ahorra con la elevación del agua subterránea y cómo	- Hay una creciente demanda de instalaciones de energía solar para el bombeo y riego

BINOMIOS P-S		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
Tema	Problema	Solución	Explicación	
	- Limitaciones relacionadas con el uso del acuífero para la distribución pasiva del agua	- Mezcla de aguas superficiales y subterráneas: canales-acuífero-tuberías	- La amplia distribución de los pozos en la zona es un punto clave para lograr la llegada de las aguas subterráneas a todo el territorio. Algunos pozos tuvieron que ser construidos en puntos específicos para el uso colectivo de los comuneros	
	- Extracción de recursos de aguas subterráneas por bombeo privado e incontrolado	- Organización de las extracciones de aguas subterráneas en la comunidad de regantes	- La comunidad de regantes regula la extracción y distribución de las aguas subterráneas entre los comuneros, evitando las intrusiones de terceros ajenos a la organización	
	- Riesgo de desbordamiento	- La apertura y el cierre de la presa de desviación podría hacerse de forma automática o manual. Además se construyeron salidas de emergencia	- Los aliviaderos en la presa y a lo largo de los canales de infiltración son absolutamente necesarios. Por ejemplo, en Santiuste hay dos aliviaderos diferentes que previenen las inundaciones en el área de recarga gestionada	
	- La extracción de aguas subterráneas mediante sondeos ha motivado el cierre de los pozos someros	- Reutilización de algunos pozos antiguos conectándolos al canal MAR por medio de una tubería. "No cierres un pozo, reutilízalo"	- Algunos viejos pozos han sido reutilizados, reconduciendo su uso antes de su cierre. La mejor solución hasta ahora ha sido llenarlos con grava para obtener un nuevo sistema MAR singular (el pozo rellenado y cubierto estaba conectado al sistema MAR)	
	- La autorización para MAR es revisada anualmente por las Autoridades de Aguas	- Evitar en la medida de lo posible la total dependencia del agua de lluvia	- A los usuarios y profesionales de las aguas subterráneas no se les avisa puntualmente de los cambios en las autorizaciones MAR y de cualquier modificación de las condiciones ambientales por cualquier medio directo	
	- Escasa colaboración de los usuarios finales y los tomadores de decisiones	- Mejorar las asociaciones entre el sector público y el privado (PPP) y los planes de gobernanza multinivel	- La asociación público-privada (PPP), la innovación y los planes de gobernanza multinivel deben ser cada vez más refinados	
	- El aumento del nivel del agua para la irrigación trae consigo eventuales inundaciones	- Cuidadosa gestión del agua, especialmente durante los períodos de lluvia	- El aumento del nivel del agua durante el período de riego tiene un impacto positivo directo, debido al menor consumo de energía para el bombeo de agua para riego, pero el riesgo de inundar cultivos requiere un control manual	
	- Conflictos de intereses entre hidroeléctricas y MAR (en cuanto a la toma de agua de ríos).	- La solución final está en manos de los tribunales de Justicia.	- El problema de competencia entre la producción de energía hidroeléctrica y el sistema MAR está contestado en la actualidad.	

11.3. Binomios P-S relacionados con la calidad del agua

La calidad del agua en relación con las instalaciones MAR tiene compuestos específicos que deben ser vigilados y monitoreados. La mayor preocupación se centra en los nitratos, el arsénico, la salinización y los elementos orgánicos del agua de recarga. El último término se incluye en las actividades SAT-MAR o recarga de agua regenerada en plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR).

Tabla 11-3: Binomios P/S relacionados con la calidad del agua

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
CALIDAD DEL AGUA	Aspectos relacionados con la calidad del agua (aguas superficiales, subterráneas y mezclas)	- La planta de tratamiento de aguas residuales debe cumplir los efluentes de calidad marcados por ley para su reutilización	- Mezcla con agua de lluvia y posterior purificación mediante un biofiltro verde y humedales artificiales (lo que se ha denominado un esquema de "triplet")	-Teniendo en cuenta la insuficiente purificación en las plantas de tratamiento de aguas residuales por lagunaje, la elección óptima debería mejorar la calidad final hasta alcanzar el umbral legal. La percepción pública negativa de la técnica SAT-MAR está cambiando mediante mejoras técnicas permanentes y una gestión cuidadosa y experta combinando distintas fuentes de toma.
		- Alta concentración de nitratos en las aguas subterráneas	- La actividad MAR es, teóricamente, capaz de reducir la concentración de nitratos por simple dilución	- Se está llevando a cabo un estudio específico para comprobar las relaciones entre los volúmenes de agua MAR y la concentración de nitratos en los piezómetros de control de calidad más cercanos, supervisados por las autoridades de aguas del Duero.
		- Alta concentración de arsénico en las aguas subterráneas	- Estudio de la distribución detallada del arsénico en diferentes partes del acuífero	- La concentración de arsénico no parece tener una relación directa con las actividades MAR, a pesar de las eventuales condiciones de hiperoxidación (cada vez menores).
		- Dudas sobre la mejora de la calidad de las aguas subterráneas mediante la técnica MAR.	- Mejora de la calidad mediante la dilución de sales y compuestos químicos en las aguas subterráneas.	- La buena calidad del agua MAR generalmente aumenta la calidad general de las aguas subterráneas y, en el caso de los usos para riego, aporta un valor añadido a los agricultores (mejor calidad de los productos).

11.4. Binomios P-S relacionados con el medio receptor (suelo/acuífero)

Las técnicas de tratamiento del suelo y del acuífero o SAT incluyen todas las operaciones sobre el agua, el suelo y el acuífero para lograr mayores tasas de infiltración y la mejor calidad de agua posible en las condiciones ambientales existentes. Las acciones sobre el terreno incluyen también las acciones en las zonas urbanas y, especialmente, en el diseño de las instalaciones MAR.

Tabla 11-4: Binomios P/S relacionados con el medio receptor (suelo/acuífero)

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
SUELO / ACUÍFERO	Aspectos relacionados con el medio receptor (suelo y acuífero/s)	- <i>Tasas de infiltración diferenciales en el acuífero</i>	- Estudio topográfico e hidrogeológico detallados previamente a las construcciones MAR	- El diseño de las instalaciones debe realizarse de acuerdo a los resultados de los estudios previos, concentrando los sistemas de recarga en las zonas más apropiadas y teniendo en cuenta la microtopografía para garantizar el flujo por gravedad
		- <i>El mejor método de recarga gestionada no es seguro a largo plazo</i>	- Combinación de métodos de recarga diferentes, con capacidad de modificación sobre la marcha si fuera necesario	- La combinación de balsas de infiltración, canales y pozos es revisada como un Sistema integrado ante los cambios de las condiciones ambientales, desde el cambio climático a los aspectos socio-económicos
		- <i>Se descuidó el potencial del acuífero para almacenar agua subterránea porque los usuarios no eran conscientes de ello</i>	- Incremento de la recarga en la zona de cabecera de las aguas subterráneas y distribución “aguas abajo” por simple gravedad usando el acuífero como un sistema de conducción	- El potencial del acuífero para almacenar y distribuir el agua ha sido escasamente considerado. La solución de basa en campañas informativas y actividades demostrativas, difundiendo cómo y por qué las ventajas sobrepasan los inconvenientes. La solución final tiene una componente social adicional
		- <i>Algunas áreas del acuífero tienen un bajo espesor de arena y una menor capacidad de almacenamiento</i>	- Algunas opciones son una red específica para conducir el agua desde la zona más productiva a las menos favorecidas y la construcción de depósitos superficiales para el riego directo	- Las soluciones se basan en sistemas integrados. En casos específicos, por ejemplo en el área de Carracillo, no se ha logrado aún una solución final para abastecer el sector norte, con un acuífero de muy poco espesor

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
		- <i>Afección potencial del agua por oscilaciones del nivel en los cimientos de las edificaciones</i>	- Además de los estudios previos de viabilidad, se realizaron estudios posteriores que estudiaron esta posibilidad	- En la cuenca de Santiuste un habitante informó de algunas grietas en su casa culpando a la actividad MAR ante los tribunales. Se llevó a cabo un estudio específico que demostró el origen tectónico de estas tensiones en un Tribunal de Justicia
		- <i>¿Por qué la técnica MAR sólo se realiza en el terreno de cultivo pero no en núcleos urbanos?</i>	- Las actividades tipo SUDS se van implantando progresivamente en terrenos urbanizados	- Estos tipos de técnicas también deberían emplearse en el urbanismo para aumentar la tasa de infiltración natural por debajo de las ciudades, a fin de reducir las inundaciones, la escorrentía superficial y el efecto "isla de calor"
		- <i>La tasa de infiltración disminuye en las instalaciones MAR</i>	- Limpieza y mantenimiento adecuados	- Los criterios aplicados para limpiar y mantener las instalaciones MAR mejoran en cada nuevo ciclo. No garantizan ni un aumento de la capacidad de infiltración ni una mayor vida útil de las estructuras
		- <i>Aumento permanente de la superficie de riego sin una garantía para el suministro de agua del 100%</i>	- Aumento de las parcelas de regadío bajo premisas de sostenibilidad y para evitar el "efecto "contagio".	- En los principales sectores del acuífero de Los Arenales, la superficie de riego se ha duplicado en 10 años y se prevé que aumentará cada vez más.

11.5. Binomios P-S relacionados con la gestión y aspectos operativos

Esta tabla presenta una lista de opciones para resolver los problemas que afectan a las instalaciones MAR mediante técnicas propias de los sistemas SAT, el empleo de nuevos diseños y el cambio en las prácticas de manejo y otros procedimientos considerados como "otros" (Fernández, 2005).

Tabla 11-5: Binomios P/S relacionados con parámetros de gestión y operativos

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
GESTIÓN Y ASPECTOS OPERATIVOS	ASPECTOS RELACIONADOS A LA GESTIÓN Y LA OPERACIÓN	- <i>Procesos colmatantes</i>	- Protocolos específicos para el control de la obstrucción, que incluye la limpieza y el mantenimiento, el control de la velocidad de flujo de las aguas de recarga, la escarificación de las zonas con acumulación de sedimentos, de los lechos filtrantes y el uso de aditivos químicos	- La colmatación es reconocida como uno de los principales problemas en los sistemas MAR. Reducciones considerables en la permeabilidad del medio poroso ocurren como consecuencia de la deposición y acumulación de partículas finas transportadas por el agua
		- <i>Excesivo aire y oxígeno disuelto en el agua de recarga</i>	- Evitar la aireación mediante vasos comunicantes en las estructuras abiertas, la reducción en la velocidad de flujo en los canales, la utilización de piezómetros y el aumento de la distancia entre los puntos de percolación y extracción	- Los dispositivos de detención colocados en las cabeceras de los canales y en las conexiones con las tuberías de suministro pueden generar un aumento de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de recarga, y a su vez reducir la tasa de infiltración debido al efecto Lisse (Krul & Liefrinck, 1946)
		- <i>Pretratamiento limitado en el agua de recarga</i>	- Trampas de escorrentía y decantación, dispositivos anticorrosión, pretratamiento tipo DBP (Desinfección por productos, tales como Cl, UV...)	- El pretratamiento de la agua de recarga es una de las medidas más efectivas para mejorar la efectividad de los sistemas MAR

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
		- <i>Erosión de las laderas</i>	- Diseño y preservación de las laderas - Labores de mantenimiento	- La erosión de las laderas provoca deslizamientos de tierra y perturbaciones en el tráfico de tractores y maquinaria agrícola en la vía de servicio de los canales de recarga
		- <i>Falta de participación de los usuarios finales en las tareas de gestión.</i>	- Promover la participación de los agricultores en la gestión del agua. Se deben adoptar enfoques integrados para mejorar la eficiencia de las actividades relacionadas con los sistemas MAR.	- Los usuarios y profesionales de las aguas subterráneas deben ser avisados puntualmente de los cambios en los permisos MAR y de cualquier modificación de las condiciones ambientales por algún medio directo. Es importante destacar la necesidad de considerar la gestión y el mantenimiento de las instalaciones MAR como uno de los aspectos más importantes para garantizar su funcionamiento.

11.6. Binomios P-S relacionados con la biodiversidad (flora, fauna, ecología)

Los polinomios P-S de este apartado tratan cuestiones ecológicas relacionadas a los efectos biológicos. Los cambios en la calidad y cantidad del agua tienen poderosos impactos en el ecosistema, en particular en los microorganismos responsables de muchos procesos naturales que tienen lugar en los ríos, los humedales y los suelos.

Tabla 11-6: Binomios P/S relacionados con la biodiversidad

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
Grupo	Tema	Problema	Solución	Explicación
FLORA, FAUNA, ECOLOGÍA	ECOLOGÍA	- Impacto de la subida del nivel freático sobre especies y elementos vulnerables (pinos, estepas, cultivos)	<ul style="list-style-type: none"> - Control de la cantidad de recarga (válvulas, compuertas, presas) - Red de monitoreo del nivel freático - Mecanismos legales y de permisos (permisos de usos del agua, estudios de prefactibilidad) 	- La recarga de aguas subterráneas debería contribuir a la recuperación de las condiciones ecológicas previas a la sobreexplotación. No obstante, parte de la vegetación se podría haber adaptado a las nuevas condiciones. En este caso, un nivel del agua somero supone una posible condición de riesgo, como es el caso de los pinos y las especies que anidan en el suelo. Para ello se recomienda el control y monitoreo permanente durante la recarga
	FAUNA	- Barreras a la movilidad de especies	<ul style="list-style-type: none"> - Puentes sobre canales - Caminos - Canales de conexión - Escaleras para peces 	- Elementos MAR como canales de infiltración, presas de desviación o compuertas de retención pueden afectar la movilidad de la fauna terrestre
	FLORA	- Remoción de vegetación y efectos negativos sobre la fauna	<ul style="list-style-type: none"> - Tala selectiva - Reconsideración de las medidas adoptadas - Relocalización de infraestructuras - Limitaciones al ascenso del nivel freático 	- Los impactos en la flora pueden ocurrir directamente por remoción de vegetación, o indirectamente por cambios en las condiciones del suelo. Las medidas para este problema pueden ser preventivas, durante la fase de diseño; y de mitigación durante la fase de construcción

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
Grupo	Tema	Problema	Solución	Explicación
	FLORA	<i>- Incremento desmesurado del área de regadío</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigación de áreas cultivadas - Limitación de los costos de bombeo -Limitación de áreas por parte de las autoridades -Monitoreo de pozos 	- Aunque el incremento de área de regadío puede constituir un riesgo para la preservación de algunos ecosistemas, a nivel europeo la política económica tiende a limitar dicho crecimiento. Los bosques no están tan en riesgo de sustitución por cultivos como las zonas yermas o desarboladas
	FLORA / FAUNA	<i>- Actividades de mantenimiento en los sitios de infiltración</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Llevar a cabo actividades durante periodos de inactividad. - Acciones de precisión - Recolección de la biomasa 	- El llevar a cabo operaciones de mantenimiento en el momento adecuado y de manera precisa pueden contribuir a la naturalización de los sistemas MAR, especialmente en elementos como balsas y canales de infiltración. La colmatación/evapotranspiración y la naturalización/purificación deben encontrar un equilibrio. Cierta cantidad de plantas deben ser extraídas con operaciones sobre el suelo de baja profundidad
	FLORA/FAUNA	<i>- La construcción de presas de desviación genera impactos ecológicos</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Filtración a través de las orillas del río - Construcción de tomas de agua en tramos específicos - Preferir los diques sobre las presas de desviación 	- Las presas o bocatomas implican la construcción de estructuras horizontales para reducir el caudal e incrementar el espesor de la lámina de agua. Alternativas a este método incluyen la extracción directa y opciones constructivas para reducir los impactos sobre el ecosistema local
	FLORA/FAUNA	<i>- La construcción de presas de derivación puede generar la introducción de especies exóticas</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Recolección de algas y plantas - Balsas de decantación - Filtros - Rejas anti-peces 	- La construcción de presas en ríos ha sido asociada al incremento de la población y número de especies de aguas tranquilas, lo que puede conducir a una cierta la invasión de ecosistemas por parte de especies exóticas

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
Grupo	Tema	Problema	Solución	Explicación
	CICLO HIDROLÓGICO	- <i>Modificaciones del ciclo hidrológico</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Balance hidrológico de factibilidad - Estudios hidrogeológicos detallados - Monitoreo - Cambio en el índice de escorrentía / infiltración 	- En todo Sistema MAR hay un donante y un receptor de agua. Incluso cuando los caudales ecológicos son respetados, los retornos mediante aliviaderos a la fuente de toma deben ser evaluados
	HUMEDALES	- <i>Desección de humedales temporales</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Restauración - Recreación - Nuevo diseño - Evaluación del balance hídrico 	- La técnica MAR puede ser usada para renovar humedales temporales en el área de recarga (La Iglesia) o crear nuevos (Sanchón, Gomezerracín). Por contra, los humedales conectados aguas abajo al cuerpo de agua donante pueden secarse dependiendo del volumen desviado y de las variaciones del nivel freático
	HUMEDALES	- <i>Restauración de lagos salados</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Mezcla de aguas de diferentes calidades - Agua de escorrentía en los depósitos salados - Recarga lateral del subsuelo - Recarga profunda y mineralización ascendente 	- En el caso concreto de los humedales salinos o de calidad del agua poco habitual, los sistemas de recarga deben considerar la manera adecuada de proveer agua a estos cuerpos (ej. mezclando diferentes calidades o permitiendo mineralización subterránea) con objeto de evitar impactos ecológicos
	HUMEDALES	- <i>Desarrollo de humedales artificiales</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Rama lateral de canal de infiltración - Balsas de infiltración - Compromiso con el medio ambiente - Mejora de la calidad del agua - Reciclaje de aguas regeneradas 	-La construcción de humedales artificiales en sistemas MAR puede jugar diferentes papeles, pero su objetivo ambiental está principalmente asociado a la conservación de fauna y flora.

11.7. Binomios P-S relacionados con el paisaje

El paisaje se ha convertido no sólo en un concepto visual, sino también en una forma integral y global de uso de la tierra y de interpretación de la calidad del entorno. El contexto, la historia y el patrimonio cultural constituyen partes importantes de un paisaje rural. Los sistemas MAR pueden devolver al paisaje características originales, a pesar de requerir el uso de estructuras artificiales. Esta dicotomía conlleva encontrar un equilibrio adecuado de cara a mejorar las aguas subterráneas con estructuras integradas en el paisaje.

Tabla 11-7: Binomios P/S relacionados con el paisaje

BINOMIOS P-S		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
PAISAJE	INTEGRACIÓN	- <i>Componentes artificiales en entorno natural</i>	- Medidas de integración visual relativas a los materiales, colores, dimensiones, etc.	- Las medidas de integración del paisaje tratan de adaptar la infraestructura al entorno, de modo que las instalaciones MAR se acondicionen a las características naturales y a la arquitectura tradicional de la zona
	RE-CREACIÓN	- <i>MAR como una herramienta de creación</i>	- Re-creación de humedales - Zonas forestadas - Zonas recreativas	- MAR no es solo una técnica de reciclaje de aguas o restauración de reservas, sino que también se puede usar para la creación de nuevo paisaje. En los Arenales las balsas de infiltración se han convertido en parques recreativos
	RECICLAJE	- <i>MAR como una herramienta de reciclaje del paisaje</i>	- Reciclaje de sitios abandonados como vertederos de basuras, minas, canteras y pozos	- MAR tiene la ventaja de permitir reciclar instalaciones preexistentes no operativas para la recarga gestionada. Las áreas de infiltración se convierten fácilmente en humedales artificiales, dando una nueva vida a estas parcelas devastadas
	RESERVORIOS	- <i>Reservorios de agua superficiales</i>	- Almacenamiento y distribución subterránea - Naturalización de reservorios	- MAR es una técnica que sustituye al almacenamiento superficial, a pesar de que en ocasiones implica la creación de cuerpos de agua superficial por su almacenamiento temporal. En este caso, se aplican soluciones relacionadas con su integración en el paisaje
	DESECHOS	- <i>Generación de residuos</i>	- Plan de manejo de residuos - Restricción en la remoción de vegetación.	- Las actividades de construcción y mantenimiento de los sistemas MAR pueden generar diversos tipos de residuos. La adecuada planificación de estas actividades puede ayudar a evitar la presencia de dichos residuos por largos periodos, así como el riesgo asociado a incendios, fugas, etc.

11.8. Binomios P-S relacionados con aspectos socioeconómicos

De acuerdo al estudio realizado, los usuarios finales y las comunidades de regantes se enfrentan principalmente a aspectos sociales y económicos una vez superados los aspectos técnicos. En esta área, la mayoría de los inconvenientes e impactos detectados han sido resueltos. Algunos de ellos requieren una decisión judicial o un periodo de actividad mayor para demostrar soluciones definitivas en el largo plazo.

Tabla 11-8: Binomios P-S de carácter socioeconómico

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
SOCIOECONÓMICOS	BINOMIOS P-S RELACIONADOS CON ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS	<i>- Uso del agua de los sistemas MAR exclusivamente para regadío</i>	- Vincular a más interesados, de manera que el panorama de los posibles usos del agua se pueda expandir a otros usos, e.g. industria, ambientales y de abastecimiento	- A pesar de que el regadío ha sido el principal objetivo de los esquemas considerados, una vez las reservas del acuífero han aumentado, otros usos del agua comienzan a ser considerados
		<i>- Los usuarios finales tienen las mismas obligaciones pero se benefician de los sistemas MAR de manera diferenciada</i>	- El agua almacenada en el acuífero se puede distribuir a través conductos y otras estructuras. También se pueden implementar mecanismos de compensación	- Algunos agricultores perciben mayores beneficios en comparación con aquellos localizados en zonas alejadas de los sistemas de recarga. Se propuso traer agua a través de conducciones cuyos costos serían repercutidos a todos los agricultores de la CCRR
		<i>- Dificultad para acceder a la información de los agricultores y usuarios finales</i>	- Generar memorias, reportes, actividades de diseminación e información de cómo acceder a estos	- Algunos agricultores han expresado dificultades para acceder a la información utilizada a la hora de tomar decisiones. Aparte de actividades de diseminación, se dio a las secretarías de las comunidades de regantes acceso a los estudios más relevantes. Es importante contar con el criterio experto para garantizar el futuro de la técnica MAR y la progresiva capacitación de los <i>stakeholders</i>

BINOMIOS PROBLEMA-SOLUCIÓN		ACUÍFERO DE LOS ARENALES		
	Tema	Problema	Solución	Explicación
		- Preocupaciones y falta de confianza en los sistemas MAR por parte de algunos interesados	- Actividades de diseminación y exposición de ejemplos éxitos en condiciones análogas	- Los interesados en el proyecto estuvieron más pendientes de la situación actual y las perspectivas del proyecto, que a los antecedentes - Los materiales de diseminación deberían incluir desde un comienzo cifras económicas relativas a los beneficios de los sistemas MAR desde un comienzo
		- Interferencia de las actividades MAR en el trabajo de los agricultores	- Comunicación y cooperación entre las comunidades de regantes y los gestores del proyecto	- Es importante que las actividades relativas a los sistemas MAR no interrumpan el trabajo de los agricultores de cara a obtener su cooperación
		- Problemas sociales ligados a los sistemas MAR pueden ser más complicados que los técnicos	- Desarrollo adecuado de las actividades y cooperación con los agricultores	- Los conflictos de intereses generados por la percepción diferencia de ganancias entre los agricultores se pueden exacerbar. En general, estos problemas han venido desapareciendo. La transferencia de responsabilidades y competencias a las comunidades de regantes debe considerar también mecanismos de sanción
		- Despoblación.	- Asegurar la disponibilidad de agua para regadío.	- Al asegurar el regadío y un medio de trabajo, se dan condiciones más óptimas para la repoblación de las áreas de intervención.

