

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN 4.

Desarrollo de sistemas piloto de inyección de salmueras en acuíferos profundos con estudio de las implicaciones ambientales

Objeto de la línea de investigación

Esta línea de Investigación pretendió evaluar la viabilidad de la inyección de salmueras en acuíferos profundos. En un primer momento (año 2007), se centró en el estudio riguroso de un caso concreto correspondiente a la planta potabilizadora de Abrera, actualmente en operación, y que cuenta con la tecnología de desalación de electrodiálisis reversible. A partir del año 2008, el estudio se reorientó hacia un estudio general de las posibilidades de esta solución en el conjunto de España, dado que esta planta ya tenía solucionado su vertido de salmuera por medio de un colector hasta el mar y que se descartó la inyección profunda en el acuífero próximo, tal como aconsejaron los estudios realizados.



Figura 1. Planta potabilizadora de Abrera; 200,000 m³/día de desalación por EDR

Proceso aplicado

Una de las posibles soluciones contempladas para los vertidos de salmueras en plantas de interior es el de su inyección en acuíferos aislados profundos. Esta podría ser una solución viable, pero siempre y cuando se encontrara un acuífero perfectamente aislado garantizando que no existe riesgo alguno de contaminación de otros acuíferos. Ésta forma de eliminación se ha utilizado en otros países (por ejemplo en pozos de petróleo abandonados en Estados

Unidos), pero las pocas experiencias que se han realizado en España no han sido positivas.

Para esta línea de Investigación se ha contado con la participación de las siguientes entidades;

- Universidad Politécnica de Catalunya (equipo dirigido por el Prof. Manuel Soler, del Grupo de Tecnología del Agua de la citada Universidad) – AÑO 2007
- La empresa Scrinser, participante de este proyecto, del grupo Sacyr-Vallehermoso que participa como filial de Sacyr en Cataluña, en la construcción de la potabilizadora de Abrera, la planta piloto de EDR y la explotación durante los dos primeros años de la instalación, al igual que SADYT, que participa también como líder y coordinador del proyecto
- Consultora “UTE Aquaplan-TEC4”; autora de uno de los estudios hidrogeológicos realizados
- Artenginy, S.L., consultora autora del estudio de valoración geológica e hidrogeológica de la eliminación de salmueras en Abrera
- Universidad de Alcalá de Henares, con un equipo dirigido por la Dra. Irene de Bustamante (años 2008 y 9)

Evidentemente con el permiso y aprobación de ATLL (Aigües del Ter-Llobregat), promotor del proyecto.

Situación actual del proyecto. Estado de desarrollo

Durante el año 2007 se realizaron las siguientes actividades;

- Instalación de planta piloto de Electrodiálisis Reversible en la ETAP de Abrera para evaluar el rendimiento de la instalación, la producción y calidad del agua tratada y la salmuera
- Realización de 2 estudios hidrogeológicos para evaluar la viabilidad de la inyección de salmueras
 - o UTE Aquaplan-TEC4

- Artenginy, S.L.
- Realización de un estudio de análisis de los datos y extracción de conclusiones por parte del Grupo de Tratamiento del Agua de la Universidad Politécnica de Catalunya

Tal como se indicó en el informe técnico de actividades del año 2007, con los resultados obtenidos, parece que en este caso no era demasiado adecuada la solución de la inyección de salmueras en acuífero profundo, por lo que se llegó a la conclusión de que no tenía demasiado sentido continuar con esta línea de investigación, al menos en el caso concreto de Abrera, aunque se ha realizado un seguimiento de los ensayos en planta piloto y de resultados de la operación de la planta industrial.

Por este motivo, se decidió reenfocar el estudio a partir del año 2008 hacia el objetivo de llevar a cabo el estudio de la viabilidad de la aplicación de las técnicas de inyección profunda en España.

Con el objeto de evaluar la inyección profunda como gestión del rechazo de desaladoras en este documento, se citan los principales puntos débiles de la inyección profunda (contaminación de aguas a proteger y obturación del almacén). Con la finalidad de evitar dichos puntos débiles se explicaran detalladamente los requisitos para la selección de posibles emplazamientos subterráneos del rechazo. Así mismo, se plantean métodos para el cálculo del volumen del emplazamiento, métodos para modelizar el posible comportamiento químico de los fluidos en el almacén y así evitar la obturación de este y se considera la utilización de los Sistemas de Información Geográfica para valorar la idoneidad de una zona frente a un posible almacenamiento de salmuera. Por otra parte se citan los requisitos operacionales establecidos por el programa UIC (Underground injection control) de la EPA (Environmental Protection Agency of USA). Finalmente se presentan un análisis DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades) sobre la situación de España frente a la inyección de salmueras y, a modo de ejemplo, se citan posibles emplazamientos a estudiar en algunas áreas de la Península Ibérica, habiéndose basado su elección en los criterios establecidos en este informe,

así como en los estudios previos del subsuelo llevados a cabo con otras finalidades, como el almacenamiento de CO₂.

1. La Recopilación bibliográfica realizada incluyó:

- Legislación española (estatal y autonómica) y comunitaria sobre inyección profunda, recarga artificial, calidad de aguas.
- Caracterización geológica, hidrogeológica, de permeabilidad de las unidades hidrogeológicas de España y situación de acuíferos con aguas salobres, que puedan ser objeto de aplicación de procesos de desalación y generación de salmueras, tomando como punto de partida la cartografía MAGNA del Instituto Geológico y Minero de España y el mapa Litoestratigráfico y de permeabilidad de España a escala 1/200.000 del IGME.
- Información disponible sobre sondeos profundos para geotermia, de petróleo y de gas realizados en España. Inventario de antiguos sondeos de hidrocarburos y de gas agotados en España (campos de La Lora en Burgos y valle del bajo Guadalquivir y sondeos de gas de Jaca y Vitoria); también se analizarán los campos de petróleo de la cornisa cantábrica (sondeos de la gaviota y de Tarragona los de Amposta, aunque en ambos casos estos sondeos están emplazados en el mar).
- Normativa o documentos guía sobre caracterización de la potencial defloculación de las arcillas de la roca caja cuando se haga la inyección profunda, para evitar la colmatación del acuífero, así como de las presiones de funcionamiento de la inyección de las salmueras.

2. Caracterización geológica.

- Se identificarán, a partir de la cartografía existente, las unidades hidrogeológicas españolas que cumplen los criterios de permeabilidad y porosidad adecuados para admitir la inyección de las salmueras de rechazo de la desalación y que presentan un confinamiento adecuado, que garantice que las aguas inyectadas no van a moverse hacia otros acuíferos que puedan ser contaminados;

intentando realizar un mapa de España con un inventario de puntos y formaciones acuíferas potencialmente favorables para la aplicación de la inyección profunda, y de acuíferos con aguas favorables potencialmente para la aplicación de la desalación, que permitan aumentar la oferta de recursos hídricos tanto para abastecimiento como para agricultura o para industria.

- Se analizará el estado de presiones y temperatura en estas formaciones, ya que son elementos importantes de cara a la realización de la inyección; pues condicionan la presión a la que es preciso inyectar el agua y la posibilidad de que se genere una fracturación de la roca almacén que pudiese facilitar el movimiento de la salmuera fuera de la roca almacén; así como la formación de precipitados que colmatasen el anular del pozo de inyección y la roca caja.

3. Caracterización hidroquímica.

- Se realizará una guía que defina la metodología a aplicar en el análisis de la interacción entre agua de inyección – agua de la formación acuífera – matriz sólida de la formación acuífera.

4. Programa de control de inyección profunda.

A partir de toda la documentación recopilada se ha realizado una propuesta de características del diseño de los pozos de inyección profunda de salmueras y acuíferos en los que podrán aplicarse esta técnica.

5. Procedimiento de autorización de la inyección profunda.

- Se realizará una revisión de los procedimientos establecidos en diferentes países para la autorización tanto de las pruebas experimentales de caracterización de la inyección profunda de fluidos (de cualquier tipo) y de las operaciones de recarga artificial de acuíferos (tanto para mejorar su estado cuantitativo como cualitativo), así como de los proyectos definitivos de inyección profunda y de recarga artificial, haciendo una propuesta de esquema de legalización y control por parte de la Administración durante la vida

del proyecto de la evolución de los acuíferos en los que se está realizando la inyección profunda.

Existen diversos documentos que analizan las recomendaciones de seguridad para la inyección profunda del rechazo procedente tanto de los distintos tratamientos de agua, como son la reutilización y la desalación (Van Voorhess, 2001, Ramos 2001, 2003; Frazier *et al.*, 2006; U.T.E Aquaplan-TEC4, 2007; UIC, 2010). Con la base de la información existente, y la elaborada en el concurso del presente proyecto, se ha elaborado un documento que pretende ser un manual de buenas prácticas que reúna todos aquellos requisitos y recomendaciones necesarios para la realización de una inyección profunda del rechazo. Para ello se tendrán en cuenta las diferentes fases de dicho proceso (selección del emplazamiento y estudios previos, diseño, autorización, construcción de pozo, operación y clausura) y los requisitos que se han de cumplir en cada una de ellas. Así mismo, en un documento complementario se citan y explican más extensamente las características y las causas de las recomendaciones y requerimientos, así como el “estado del arte” de la tecnología de la inyección profunda para el almacenamiento de fluidos de rechazo y residuales.

Estos trabajos se encomendaron a la Universidad de Alcalá, más concretamente al equipo de trabajo del Departamento de Geología, con la dirección de los trabajos por parte de la Dra. Irene de Bustamante. En el ANEJO 8 se presentan los resultados obtenidos.

En el estudio se han detallado los siguientes aspectos:

1. Introducción
2. La inyección profunda como tecnología de gestión del rechazo de desaladoras.
3. Condiciones necesarias para la selección de emplazamientos donde inyectar salmueras
 - 3.1. Aspectos generales. Posibles emplazamientos
 - 3.2. Criterios concretos de selección de emplazamientos.

3.2.1. Criterios geográficos

3.2.2. Criterios geológicos

3.2.3. Criterios geoquímicos

3.2.4. Criterios económicos

4. Metodologías de cálculo de algunos parámetros imprescindibles.
Modelización

4.1. Estimación del volumen útil de la formación almacén

4.2. Comportamiento químico de la mezcla: salmuera-agua de formación-roca caja

4.2.1. Estimación teórica de la precipitación al interaccionar agua de formación-agua inyectada- roca almacén

4.2.2. Estimación teórica de la pérdida de porosidad

5. Características de la inyección. Requisitos mínimos de construcción, operación y clausura (EPA, 2010 y UIC, 2010)

5.1. Clasificación de pozos de inyección según la EPA

5.2. Recomendaciones técnicas para la protección de las aguas subterráneas en pozos de inyección del rechazo subproducto de la potabilización de agua (UIC, 2006).

6. Inyección profunda de salmueras en el Estado Español

6.1. Análisis de la situación de España frente a la inyección de salmueras

6.2. Posibles emplazamientos a estudiar para la inyección profunda de salmueras

6.2.1. Localización de pozos o sondeos de prospección de hidrocarburos en la Península Ibérica

6.2.2. Potenciales almacenes a estudiar en formaciones porosas profundas

6.3. Aspectos legales

7. Conclusiones

8. Prospectivas

Asimismo, el citado estudio ha llevado a la edición de un manual de buenas prácticas para la inyección profunda de salmueras, que se incluye como Anejo

9. El documento, que pretende ser editado o publicado, incluye los siguientes apartados:

Fases de una operación de inyección

1. Fase de estudio

1.1. Selección del emplazamiento

1.1.1. Características que debe cumplir una formación geológica para servir de emplazamiento del rechazo

1.1.2. Tipos de emplazamientos para la inyección de salmueras

1.1.3. Criterios en la selección del emplazamiento

1.2. Caracterización del fluido a inyectar

1.2.1. Características que debe cumplir el fluido a inyectar

1.2.2. Tipos de fluidos

1.3. Estudios previos y métodos de cálculo

2. Fase de diseño

2.1. Datos necesarios para el diseño del pozo y parámetros mínimos a establecer

2.2. Diseño del pozo

2.2.1 Esquema básico de las fases constructivas de un pozo de inyección profunda

2.2.2 Diseño de las fases constructivas

2.3. Diseño de la monitorización

3. Autorización

4. Fase de construcción o ejecución

4.1. Requisitos mínimos

4.2. Controles durante la realización del pozo

4.3. Comprobación de la estabilidad del pozo

5. Fase de operación

5.1. Control durante la inyección del residuo

5.1.1. Índice de inyectividad

5.2. Problemas durante el desarrollo de la operación de inyección

5.2.1. Obturación parcial del almacén.

5.2.2. Problemas en la migración del residuo

5.2.3. Disminución del rendimiento de la inyección con el tiempo

6. Fase de abandono

Abreviaturas

Bibliografía

Conclusiones generales

Análisis de la situación de España frente a la inyección de salmueras

Con la finalidad de observar las ventajas y desventajas de utilizar la inyección profunda como tecnología de gestión del rechazo subproducto de plantas de tratamiento de agua en España y la situación de España frente a dicha tecnología se ha llevado a cabo un análisis DAFO.

Debilidades

Debilidad estructural: por la composición del subsuelo, España depende de la opción de almacenamiento en formaciones permeables profundas con agua salada.

Debilidades en el conocimiento: falta de estudios de estas formaciones salinas, a escalas de detalle y déficit de expertos.

Barreras económicas: La exploración de emplazamientos geológicos de salmuera es costosa, aunque se pueden tomar todos los estudios que están actualmente en marcha para el almacenamiento de CO₂ y los numerosos estudios para el almacenamiento de residuos radioactivos .

Barreras industriales o de mercado: escasez de compañías de servicios en exploración del subsuelo, organismos catalizadores del conocimiento en este área, la ausencia de un marco regulatorio.

Amenazas

Rechazo social a cualquier tipo de almacenamiento en un entorno próximo. Posible reacción de oposición de una comunidad a que se lleve a cabo cualquier actuación de tipo almacenamiento subterráneo.

Retraso en la creación de un marco legal para la inyección de salmueras o incluso cualquier tipo de inyección subterránea.

Fortalezas

Fortaleza estructural: formaciones profundas con agua salada abundante y con un potencial, al menos *a priori*, bastante importante.

Fortalezas de conocimiento: conocimiento debido a otros sectores (industria del petróleo, almacenes de gas natural, de CO₂, de residuos radioactivos etc.) y a la actividad minera.

Fortalezas sociales: la larga historia minera de España puede favorecer la predisposición a recibir actividades relacionadas con el subsuelo.

Fortalezas industriales: existe una cierta base industrial a partir de la cual desarrollar tecnologías de almacenamiento de salmueras. Hay experiencias en la exploración y caracterización del subsuelo.

Oportunidades

Se trata de Tecnologías en el inicio de su desarrollo a escala mundial.

Desarrollo de un mercado incipiente. El desarrollo de estas tecnologías abrirá interesantes campos de negocio y de investigación.

España es uno de los países a la cabeza mundial en cuanto a tecnología de desalación se refiere y es el cuarto país en cuanto a cantidad de agua desalada, es necesario que para mantener esta situación desarrolle alguna tecnología para resolver la gestión del concentrado en desaladoras de interior

Usos alternativos de la salmuera. En esta línea existen también campos de cierto interés y potencial de desarrollo, que puede llegar a crear una gran oportunidad para convertir la salmuera en un recurso.

PROSPECTIVAS

Una vez establecida la metodología a grandes rasgos y recogida la mayor parte de bibliografía existente al respecto, sería conveniente seleccionar un emplazamiento o un área de trabajo donde poder llevar a cabo, aunque sea de forma piloto toda la metodología propuesta. Dada la gran cantidad de variables existentes es difícil establecer una metodología concreta, sino es desarrollándola ya en un área y para un concentrado concretos. Mediante un análisis geográfico a partir de datos como zonas de escasez de agua en el Estado español y masas de agua salada subterránea se puede evaluar la posible localización de grandes desaladoras de interior. Una vez seleccionada el área, recopilar toda la información del subsuelo y de sondeos ya existentes, para evaluar la posibilidad de inyectar la salmuera o concentrado y en caso afirmativo seleccionar potenciales formaciones almacén, mediante las metodologías propuestas en este informe.

Resultados y Conclusiones LÍNEA DE INVESTIGACIÓN 4. Inyección en acuífero profundo

Las conclusiones más importantes del proyecto son;

- En España no se ha realizado con éxito ninguna experiencia de este tipo, aunque hay algunas instalaciones construidas

- En el caso concreto de la ETAP de Abrera, no parece viable este sistema de inyección de salmueras por la hidrogeología de la zona, por lo que se propuso cancelar la línea de investigación en el caso de la planta de Abrera

Las administraciones del agua y los gestores del agua tienen el reto de encontrar un equilibrio entre las tecnologías de tratamiento apropiado, las prácticas de eliminación segura de los residuos generados, la seguridad de los trabajadores y los costes, garantizando al mismo tiempo el cumplimiento de los reglamentos de agua potable para lograr una máxima protección de la salud pública. Estos desafíos están haciendo que se consideren la inyección de residuos como una de las opciones de eliminación preferida para el residuo obtenido de la potabilización del agua.

La inyección profunda del concentrado subproducto de la potabilización de agua es actualmente la opción más viable para la gestión del concentrado en desaladoras de interior. Es EEUU esta práctica de gestión se lleva a cabo en más de 100 infraestructuras.

Los distintos aspectos legales que pueden afectar a la inyección profunda de salmueras o concentrados en España, están contenidos en diferentes normativas y leyes, ya que no existe una normativa como tal para este tipo de actuaciones.