

# La recarga artificial de acuífero como ayuda a la gestión de los recursos hídricos; el ejemplo del sistema de Ginebra (Suiza)

G. de los Cobos

GESDEC-DT. Etat de Genève. Departamento del territorio del cantón de Ginebra-Suiza. 12 quai du Rhône, CP 36. CH1211 Genève 8. Suiza  
gabriel.deloscobos@etat.ge.ch

## RESUMEN

Hoy en día, los recursos de agua potable para la región de Ginebra proceden del lago de Ginebra (80%) y de un acuífero transfronterizo (20%) llamado acuífero del «Genevois». Durante los años 70, el nivel freático del acuífero descendió considerablemente a consecuencia de un fuerte sobrebombeo del acuífero y se decidió poner en marcha un dispositivo de recarga artificial a fin de mantener un nivel de agua subterránea adecuado para una explotación sostenible de los recursos de agua potable. Esa recarga artificial, utilizando el agua del río Arve, funciona desde 1980. Desde hace casi 30 años, el sistema de recarga artificial de Ginebra ha permitido un aporte al acuífero superior a 230 millones de m<sup>3</sup>. En este artículo se describe el papel de la recarga artificial en la gestión de las aguas potables para la región de Ginebra y sus impactos.

Palabras clave: acuífero transfronterizo, agua subterránea, estudio de caso, gestión de los recursos hídricos, Ginebra, recarga artificial

## ***The artificial recharge as a tool for the water resources management: case of the aquifer recharge system of Geneva (Switzerland)***

### ABSTRACT

*The drinking water supply for the Geneva area comes partly (80%) from the lake Geneva and partly (20%) from a large transboundary aquifer called Genevois aquifer. During the 70's, overpumping lowered the groundwater level by more than 7m. Artificial recharge has been carried out from the Arve river into the Genevois aquifer in order to maintain the groundwater level and enable water resources management. Located near the Arve river, this artificial recharge plant started its activity in 1980. For the last almost 30 years the artificial recharge system of Geneva has brought over 230 hm<sup>3</sup> of treated water into the Genevois aquifer. The impacts of the recharge on the Genevois aquifer and on the aquifer management are described in this paper.*

*Key words: artificial recharge, case study, Geneva, groundwater, transboundary aquifer, water resources management*

## Introducción

Como acuífero transfronterizo, 5 pozos explotan el acuífero del Genevois por parte francesa y 10 por parte suiza. En Francia, lo explotan varias comunidades con un bombeo total anual de más o menos 2 millones de m<sup>3</sup>. Las extracciones están reguladas mediante un convenio entre el Estado de Ginebra y las comunidades francesas que reglamenta también su parte financiera. Por parte suiza, la sociedad explotadora es SIG (Servicios Industriales de Ginebra), empresa pública propietaria de todos los pozos e igualmente, desde 2008, propietaria de la planta de recarga artificial de Ginebra. La gestión de las aguas se hace bajo la autoridad del Departamento del

Territorio del cantón de Ginebra, con una concesión de explotación del Estado de Ginebra a SIG. Normalmente el 80% del agua potable viene del lago y el 20% viene del acuífero del Genevois, aunque dependiendo de las averías o las obras en la red de abastecimiento de Ginebra, el acuífero puede participar en más del 40%.

Durante los años 70, el nivel freático descendió considerablemente a consecuencia de la fuerte sobreexplotación del acuífero, por lo que se decidió construir un dispositivo de recarga artificial a fin de mantener un nivel de agua subterránea en el sistema y conseguir una explotación sostenible de los recursos de agua potable. Esa recarga artificial, que funciona desde 1980, utiliza como fuente de agua el río Arve.

## Descripción general del acuífero del Genevois

La extensión del acuífero del Genevois es de 19 km entre el lago y la parte oeste del cantón (figura n° 1), con una anchura variable entre 1 y 3,5 km. Su geometría está condicionada por la morfología del techo de la capa de arenisca del Terciario (molasa) y está controlada por los surcos suroeste-nordeste. Los aluviones de valle constituyen la formación del acuífero (gravas y arenas limosas) que pueden medir hasta 50 m de espesor. Esta formación está recubierta por un depósito glacial (morrena) de poca permeabilidad, que impide la infiltración eficaz de las lluvias, pero que ayuda a la protección natural del acuífero (figura n° 2).

El espesor de la grava saturada alcanza máximos de 50 m y, según las condiciones topográficas, el nivel medio del agua se encuentra entre 15 y 80 metros de profundidad. El acuífero tiene una permeabilidad de Darcy de  $1-2 \times 10^{-3}$  m/s, pero puede variar desde  $5 \times 10^{-7}$  m/s hasta  $3 \times 10^{-2}$  m/s. La mayor parte de las salidas tienen lugar hacia territorio francés.

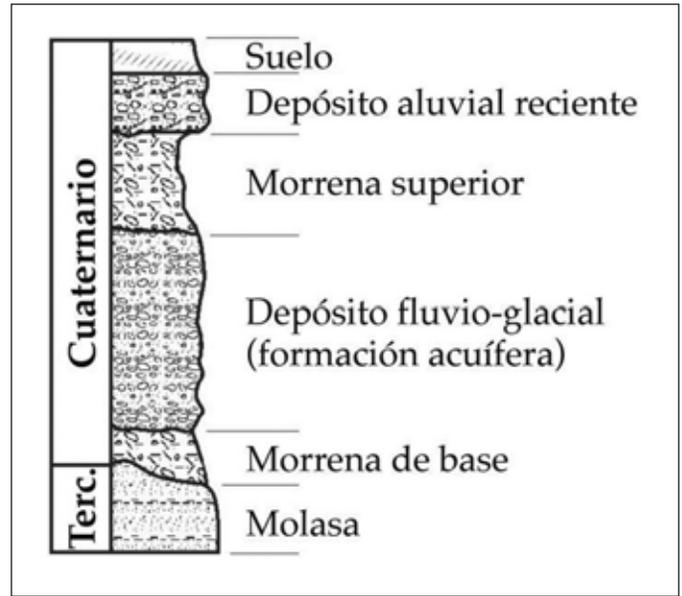


Figura 2. Estratigrafía de la geología regional  
Figure 2. Stratigraphy of the regional geology

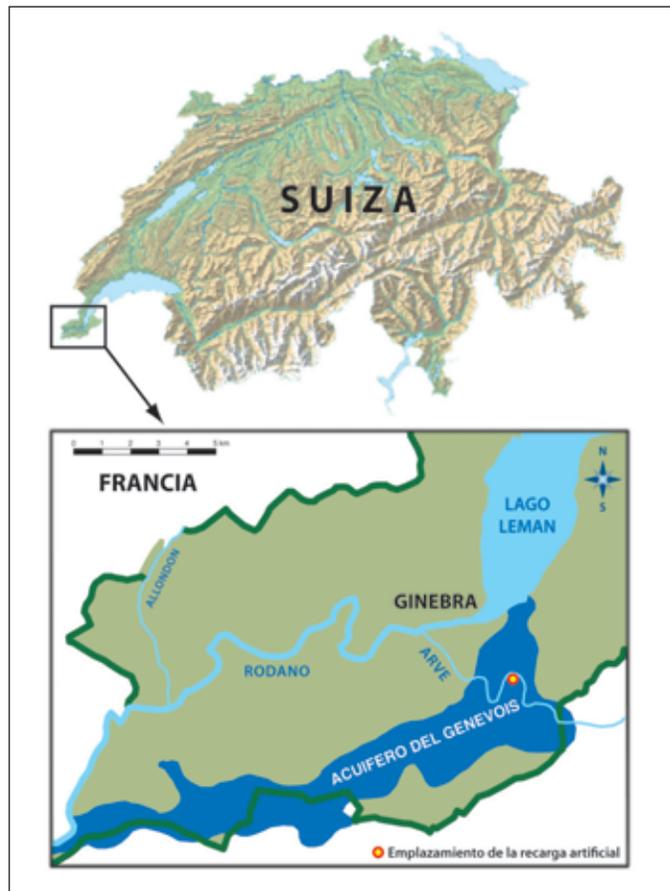


Figura 1. El acuífero del Genevois  
Figure 1. The Genevois aquifer

## Antecedentes

Entre 1940 y 1960, la explotación del acuífero del Genevois llegó casi al caudal medio explotable ( $7.5 \text{ hm}^3/\text{año}$ ). La tendencia fue un ligero descenso de la capa freática, sin excesiva gravedad. Entre 1960-1980 el acuífero fue sobreexplotado, con bombeos que alcanzaron unos  $14 \text{ hm}^3/\text{año}$  en 1971, o sea casi el doble del volumen explotable posible. El nivel freático medio descendió 8 m en 20 años lo que implica el uso de un tercio de la reservas totales del acuífero (figura n° 3). Una gestión hidráulica urgente ha tenido que plantearse: o se optaba por una disminución de las extracciones, explotando otro recurso hídrico, lo que exige la construcción de una nueva estación de filtración y tratamiento de agua del lago; o bien se desarrolla la capacidad natural del acuífero por recarga artificial.

La elección entre ambas posibilidades fue difícil. Se enfrentaba una técnica conocida y dominada a la recarga artificial, que constituía entonces una aventura teniendo en cuenta el número de incógnitas de la ecuación de balance. Dos criterios condujeron a la elección actual: el de la garantía de abastecimiento y el económico. La garantía de abastecimiento exige la diversificación de los recursos para asegurar la continuidad de la distribución de agua en caso de avería técnica o de contaminación grave de un recurso. El coste de la construcción y del equipamiento de una

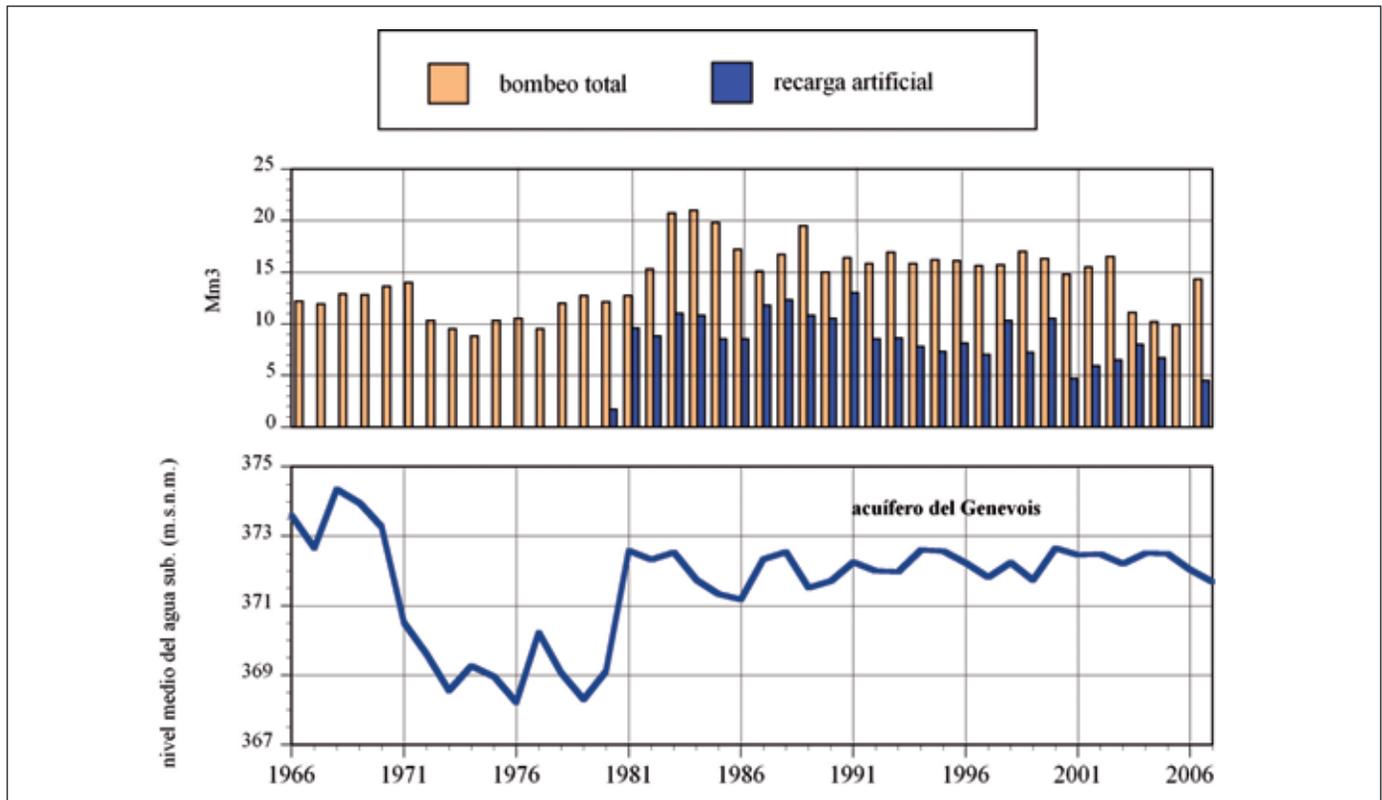


Figura 3. Impacto de los bombeos y de la recarga artificial sobre el nivel medio del agua subterránea  
 Figure 3. Impact of pumping and artificial recharge on the aquifer level

nueva estación de filtración de agua del lago con modificación necesaria de la red de distribución de agua arrojó un presupuesto de 150 millones de francos suizos (1975). El presupuesto de un dispositivo para la gestión de la recarga artificial de acuífero (MAR), incluido un laboratorio automático colocado río arriba para detectar contaminaciones del río Arve, fue de 20 millones de francos suizos.

La elección del sistema MAR fue acompañada de varias pruebas, a fin de determinar la técnica más adecuada para el emplazamiento elegido según sus condiciones geológicas e hidrogeológicas. Pruebas de recarga del acuífero por regadío en superficie con agua del río Arve permitieron determinar las velocidades de infiltración del agua en el terreno y los flujos en el acuífero (trazadores). Con los excelentes resultados de esa primera fase de pruebas, se puso en servicio una estación-piloto con la idea de determinar los objetivos siguientes:

- las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas del río Arve y del acuífero;
- las variaciones estacionales y la presencia eventual de contaminantes (hidrocarburo, metales pesados);

- la investigación de una técnica de tratamiento previo del agua bruta a fin de poder filtrarla con un filtro de arena usual;
- el modo de inyección en el terreno más apropiado, con aguas de diferente calidad;
- la modificación eventual de la calidad del agua subterránea o la disminución de la permeabilidad en el emplazamiento de las pruebas.

En un primer momento se decidió construir balsas como dispositivo de recarga artificial siguiendo el ejemplo de otras experiencias conocidas (Göteborg, Dortmund, Croissy-sur-Seine, Basilea, etc). Ese tipo de MAR necesita un mantenimiento importante para la limpieza y la descolmatación periódica del fondo de las balsas. Además, el agua del río ya tratada y filtrada, como estaba previsto en el proyecto, no necesita una balsa de infiltración y podría, por el contrario, constituir un riesgo de contaminación accidental antes de su infiltración en el terreno.

Se eligió finalmente un sistema de drenes de inyección, solución adoptada con éxito por la estación de recarga de Frankfurt. En paralelo a esas pruebas "in situ", estudios sobre los costes y el rendimiento contribuyeron a un principio de acuerdo por

parte de todas las colectividades interesadas en la explotación de ese acuífero.

Después de seis años de experimentación, las conclusiones fueron las siguientes:

- para asegurar siempre una buena infiltración del agua en el terreno, es preciso inyectar aguas con características de transparencia cercana a la de las aguas potables;
- la recarga artificial es realizable en el emplazamiento previsto, con caudales entre 600 y 1000 litros por segundo;
- excepto en períodos de crecida del río, durante los cuales las instalaciones de recarga no funcionan, es más fácil tratar el agua del río (turbidez de origen mineral) que el agua del lago (turbidez a causa de las algas y otras materias orgánicas);
- el tratamiento que está previsto para el agua bruta del río (desarenador, micro-floculación y filtración), elimina las partículas en suspensión en el agua, así como la mayoría de los productos tóxicos en solución, que podrían extenderse en el río de modo accidental o por negligencia;

- los dispositivos de control deben accionar una parada automática de las instalaciones de recarga artificial en caso de contaminación grave del río.

### Descripción del sistema de recarga

El sistema de recarga artificial de Ginebra está formado por los elementos siguientes (figura 4):

- Una toma de agua (captación) en el río Arve, 300 m río arriba de la planta, con rejilla auto-limpiadora para eliminar los elementos gruesos que se encuentren flotando o en suspensión en el agua del río.
- Una tubería que traslada el agua bruta hacia la planta de tratamiento (diámetro: 700 mm; largo: 400 m).
- La planta de tratamiento del agua del río cuenta con desarenador, micro-floculación ( $\text{FeCl}_3$ ) sobre filtro de 3 capas y desinfección con cloro ( $\text{Cl}_2$ ). El caudal máximo es de 630 l/s.
- Una tubería que traslada el agua tratada hacia la zona de recarga de 800 mm de diámetro y de 700 m de largo.

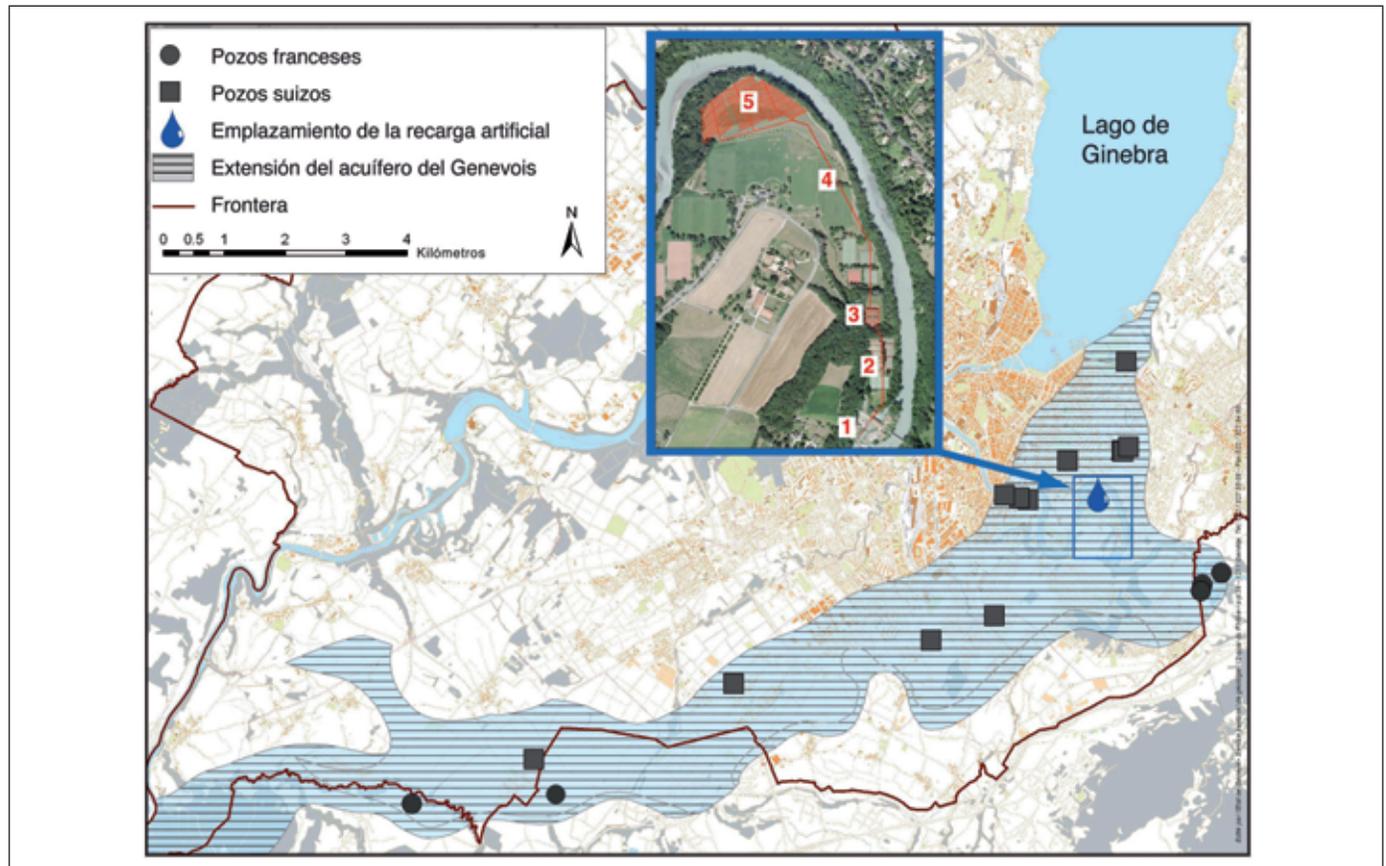


Figura 4. Situación y descripción del sistema de recarga artificial  
Figure 4. Location and description of the artificial recharge area

- La zona de recarga subterránea con 4950 m de tuberías perforadas de 200 mm de diámetro. Las zanjas drenantes han sido excavadas a -2 m en las gravas aluviales y glaciales. Las tuberías perforadas están recubiertas con gravilla redonda y lavada. El relleno superior fue ejecutado con el material de excavación. Las tuberías perforadas están colocadas 7 m por encima del nivel freático medio, en la zona no saturada. La superficie de la zona de recarga es de 3 ha.

La estación está pilotada desde el centro de control de SIG, localizado a 6 km de la estación. Desde el punto de vista de mantenimiento, sólo dos personas están a cargo de la verificación de las instalaciones y de ciertas intervenciones en el emplazamiento. Un laboratorio de control automático y permanente de la calidad del agua del río está situado a 1 km río arriba, al borde del río. Gracias a ese laboratorio se pueden detectar eventuales contaminaciones del río y activar automáticamente la parada de la toma de agua del sistema.

### Balance hidráulico del acuífero con recarga artificial

La capacidad total teórica de la planta, teniendo en cuenta el uso del 14% del agua producida para el lavado de los filtros de arena, es de 17 hm<sup>3</sup>/año (540 l/s). Teniendo en cuenta la alta turbidez del agua del río, que implica la parada de la explotación durante ciertos períodos (65 días al año por término medio) y las paradas automáticas de la estación en caso de contaminación del agua del río, la capacidad real es de 11 hm<sup>3</sup>/año (350 l/s).

Desde la puesta en servicio de la estación en 1980, los cinco primeros años permitieron regular la recarga artificial en función de los bombeos y de las variaciones del nivel piezométrico. Ese primer período constituye una restitución de las reservas del acuífero. El estado piezométrico desde 1966 (antes de la recarga artificial), y después de 1980 hasta 2001 (recarga artificial en función) se muestra en la figura n° 3.

Entre 1980 y 1986, el bombeo total llegó a unos 20 hm<sup>3</sup>/año, incrementando la capacidad del acuífero a

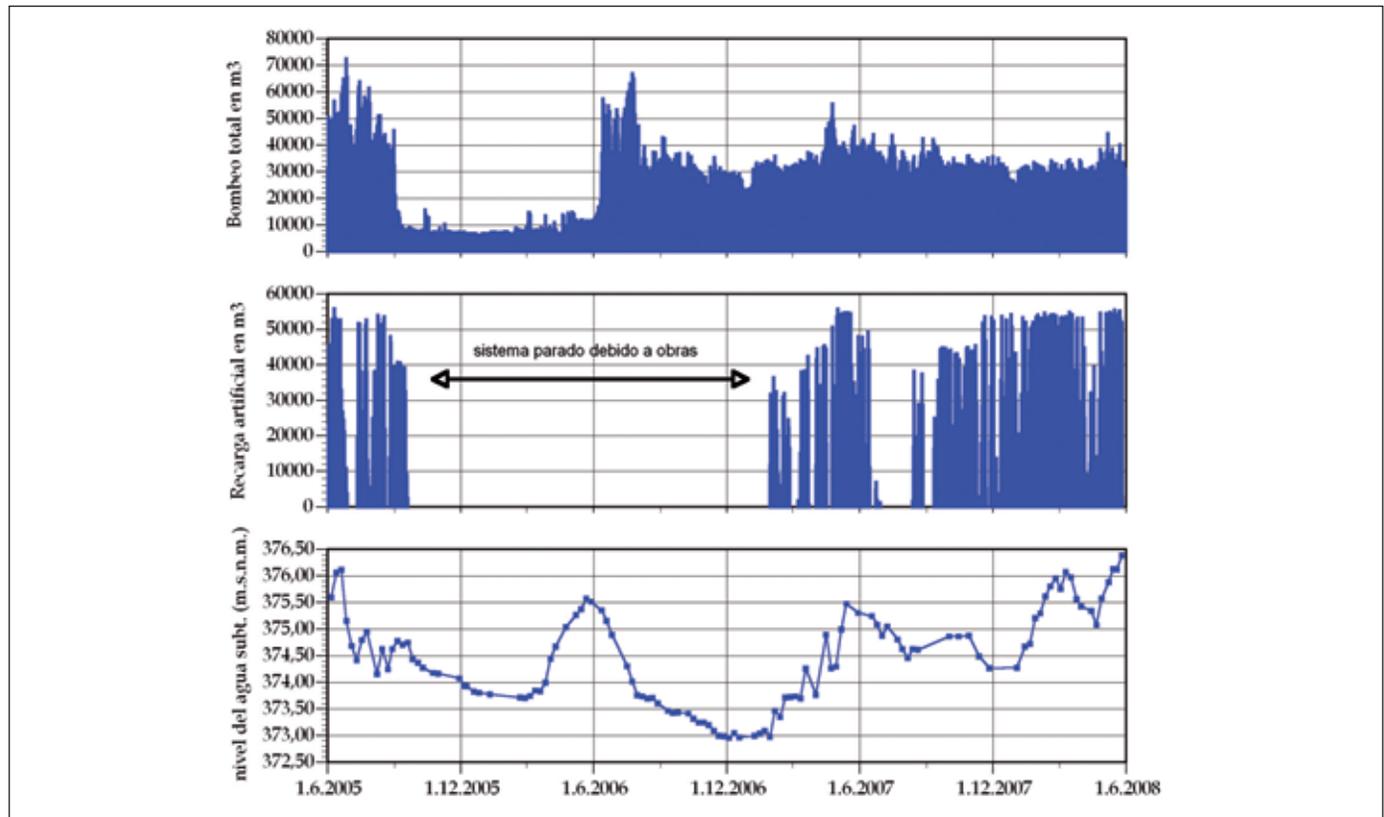


Figura 5. Impacto de los bombeos y de la recarga artificial desde junio del 2005 hasta junio del 2008. Se nota una excepcional recarga natural entre abril y junio del 2006

Figure 5. Impact of the pumping and the artificial recharge from June 2005 to June 2008. An exceptional natural recharge from April to June 2006 can be noticed

más del doble de su capacidad natural. El descenso piezométrico que resultó necesitó un reajuste de los bombeos en los pozos y de la recarga artificial. El objetivo buscado era regular el nivel medio en torno a las cotas de 372,5 – 373 m s.n.m.

Desde 1990, el volumen anual total extraído es de entre 15 y 17 hm<sup>3</sup>/año y la recarga artificial de 8 a 10 hm<sup>3</sup>/año. El nivel freático medio se ha estabilizado una cota de 372,15 m s.n.m., resultado de un buen equilibrio entre bombeos y recarga artificial. Las variaciones anuales registradas entre 1999 y 2001 se explican por obras de reparación de la planta (reparación de los filtros, balsas y depósitos de la estación) que produjeron paradas prolongadas de la recarga artificial, alternando con períodos de funcionamiento intensivo destinado a reequilibrar los niveles del acuífero. Con excepción de las obras de mantenimiento, las paradas más frecuentes de la planta son debidas a la turbidez del agua del río Arve durante las crecidas del río por deshielo. Eso se explica porque el río tiene su manantial a 100 km de Ginebra en el macizo del Mont-Blanc y 6% de su cuenca de captación está constituida por glaciales. Durante esas temporadas, cuando la recarga artificial no funciona, es efectiva la recarga natural.

En 2006, la recarga artificial no funcionó durante todo el año, debido a obras en la zona de la toma de agua en el río. Para mejorar la capacidad de captación del agua del río, se realizó una rehabilitación del lugar. Durante esa temporada de 16 meses (septiembre 2005 a febrero 2007), una gestión adecuada del acuífero entre bombeos y nivel piezométrico fue aplicada con éxito; no se registró ningún descenso importante en los niveles del acuífero (figura n° 5). La buena gestión de la recarga artificial en 2007 y durante el invierno de 2008 ha hecho que los niveles del acuífero hoy en día estén de nuevo en equilibrio. En caso 30 años de funcionamiento, el sistema de recarga artificial de Ginebra ha demostrado toda su utilidad y su favorable influencia en la gestión de las aguas potables para el abastecimiento de la región de Ginebra, con un aporte de más de 230 hm<sup>3</sup> de agua al acuífero del Genevois.

Desde el punto de vista hidroquímico, la recarga artificial indujo la mejora de la calidad global del agua del acuífero en cuanto a la dureza del agua y los nitratos. La proporción media en nitratos, calcio y dureza

total, así como la conductividad, ha disminuido con los años, alcanzando excelentes niveles de mineralización para el agua potable.

## Conclusiones

En 1968, la propuesta de un estudio para la recarga artificial del acuífero del Genevois originó reacciones moderadas, incluso oposición. Casi 30 años después de su puesta en funcionamiento, la planta de recarga artificial de Ginebra ha permitido obtener efectos muy beneficiosos. Por una parte, sobre los volúmenes de agua del acuífero del Genevois (elevación del nivel medio de la capa acuífera) y, por otra, sobre la calidad del agua, particularmente la disminución de la dureza del agua, así como en el contenido en nitratos. Con más de 230 millones de m<sup>3</sup> inyectados desde su puesta en funcionamiento, la planta, que integra una filtración previa y una infiltración por drenes subterráneos constituye, en ese contexto, la mejor fórmula. La gestión técnica de la recarga artificial, prácticamente automática, no requiere más que de dos personas para supervisar el funcionamiento de la planta en lo que se refiere a los bombeos y los niveles piezométricos.

La elección efectuada en los años 70 entre una nueva planta de tratamiento de agua del lago y una planta de recarga artificial del acuífero, ha sido la más adecuada, no sólo desde el punto de vista económico, sino igualmente desde el punto de vista de la gestión de los recursos hídricos, asegurando de ese modo para Ginebra y su región un uso óptimo y fiable del agua potable por la diversificación y la potencialidad cualitativa y cuantitativa de sus recursos.

## Referencias

- De los Cobos, G. 2002. The aquifer recharge system of Geneva, Switzerland: a 20 year successful experience. In: Management of Aquifer recharge for Sustainability, P.J. Dillon (ed), A.A. Balkema Publishers, pp. 49-52.
- De los Cobos, G. 2007. Impacts of a long-term shutting down on the aquifer recharge management: case of the aquifer recharge of Geneva, Switzerland. In: Management of Aquifer recharge for Sustainability, P. Fox (ed), ACACIA Publishing Incorporated, pp. 296-306.

Recibido: junio 2009

Revisado: septiembre 2009

Aceptado: septiembre 2009

Publicado: octubre 2009