

ISBN: 978-84-938046-4-0

## COMENTARIOS SOBRE LA INCERTIDUMBRE EN EL CONOCIMIENTO Y GOBERNANZA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN CANARIAS

**Emilio CUSTODIO<sup>1</sup>, María del Carmen CABRERA<sup>2</sup>, Roberto PONCELA<sup>3</sup> y Luis Olavo PUGA DE MIGUEL<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

[emilio.custodio@upc.edu](mailto:emilio.custodio@upc.edu)

<sup>2</sup> Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC)

[mcarmen.cabrera@ulpgc.es](mailto:mcarmen.cabrera@ulpgc.es)

<sup>3</sup> Profesional libre Eurogeólogo - Hidrogeólogo. Santa Cruz de Tenerife

[rponcela\\_geo@yahoo.es](mailto:rponcela_geo@yahoo.es)

<sup>4</sup> Ex profesor asociado de la Universidad de La Laguna (ULL)

[lpugmig@gmail.com](mailto:lpugmig@gmail.com)

### RESUMEN

La gobernanza del agua, y en particular del agua subterránea, requiere reglas de relación entre la administración del agua, los usuarios y la sociedad, aceptadas por los implicados y acordes con la legislación vigente. Estas reglas se fundamentan en el suficiente conocimiento de las aguas subterráneas, el cual tiene asociado una incertidumbre que puede ser importante. Esto se traduce en que en distintos estudios se obtengan diferentes evaluaciones de las aguas subterráneas. Por ello, hay que gestionar y gobernar con incertidumbre, lo que requiere reglas flexibles dentro de unos condicionantes que eviten arbitrariedades, abusos, indefensión y conflictividad. Para reducir la incertidumbre se requieren estudios, observaciones, controles, elaboración continuada de los datos y transparencia y honestidad en la información, a un nivel cuyo coste esté justificado por los beneficios que produce la explotación del agua subterránea y por la pérdida de servicios de la naturaleza. Los costes se han de cubrir por los usuarios con los beneficios obtenidos. Se requiere la mejor involucración posible del conjunto de actores en relación con el agua subterránea a través de sus instituciones y representantes, pero sin que la administración eluda su ineludible responsabilidad final.

**Palabras clave:** *Incertidumbre, aguas subterráneas, gobernanza, Canarias.*

### ABSTRACT

Water governance, and particularly that of groundwater, requires rules to guide the relation between the water administration and the users and the society, accepted by those involved in it and in agreement with the legislation in force. These rules are based in a sufficient knowledge of groundwater, which has an uncertainty associated that may be important. This means that different studies may show different hydrogeological evaluations. Therefore, management and governance have to be done under uncertainty, which needs flexible rules but with conditions to avoid arbitrary behaviour, abuse, lack of security and conflicts. To reduce uncertainty, studies, monitoring, controls, continuous elaboration of data

and transparency and honesty are required, whose cost should be proportionate to the benefits derived from groundwater development and the loss of nature services. The costs should be paid by the water users with the benefits obtained, For this, the possible best involvement of groundwater stakeholders through their institutions and representatives is needed, but the public water administration must accept its necessary final responsibility.

**Key words:** *Uncertainty, groundwater, governance, Canary Islands.*

## INTRODUCCIÓN

Los procesos naturales y el comportamiento de la naturaleza son esencialmente inciertos a causa de un componente estocástico que está siempre presente a cualquier escala espacial o temporal. Esta incertidumbre, a la que se puede designar como esencial o irreductible, se une a la que es debida a deficiencias, desvíos y sesgos en el conocimiento y a la que se deriva del uso de modelos conceptuales no adecuados o erróneos, observaciones imprecisas o equivocadas, insuficiente o excesivamente simplificada consideración de los procesos que se producen, inventarios y conjuntos de datos incompletos, descripciones desafortunadas o imprecisas y no pocas veces la intención de engañar al esconder realidades o inventarse datos. Estos últimos tipos de incertidumbre son reducibles con mayor esfuerzo y cuidado, pero con un coste de tiempo, esfuerzo humano y gasto económico que puede llegar a ser excesivo en el contexto de lo que se pretende gestionar en cada caso, si no se hace de forma proporcionada a la situación real. Esto viene expresado por el dicho popular de que lo mejor es enemigo de lo bueno.

Todo lo expresado anteriormente es válido en el campo de la hidrología a pesar de que con frecuencia los datos y resultados se presentan como valoraciones numéricas con muchas cifras, que en realidad carecen de valor real, siendo sólo significativas las dos o tres primeras. Esto es cierto tanto en hidrometeorología, como en hidrología de superficie, como en hidrología subterránea, en cada caso con sus matices, pero siempre con notable incertidumbre asociada, como es lo normal en evaluaciones de la naturaleza. En las dos primeras ciencias pesa más la variabilidad temporal y en la última las propiedades del terreno. Lo dicho es extensivo a las derivaciones medioambientales, económicas y sociales, que son tanto o más importantes para el usuario y la sociedad.

La incertidumbre se puede medir a partir de las desviaciones que se producen en torno a un valor más frecuente. Para distribuciones de datos con distribución estadística próxima a la normal (gaussiana), la incertidumbre se puede expresar mediante la desviación estándar ( $\sigma$ ) y darla como  $m \pm \sigma$ , en la que  $m$  es la media, que comprende el 68,3% de las realizaciones posibles ( $m \pm 2\sigma$  comprende el 95,4%). También se puede expresar adimensionalmente como  $m/\sigma$ , que es el coeficiente de variación (CV), en valor absoluto o como porcentaje. Para otras distribuciones no normales y no transformables a la misma, cabe medir la incertidumbre por el valor del intervalo entre dos cuartiles simétricos, como el 20% y el 80% y referirlos a la mediana como valor central. Cuando los valores no forman series con varios términos o no son cuantificables, la incertidumbre es una apreciación, pero en lo posible debe cualificarse para atribuirle un valor numérico aproximado.

La incertidumbre de un cierto resultado se puede obtener a partir de la raíz cuadrada de su varianza estadística y, en el caso de variables de distribución normal, esta varianza es la suma ponderada de las variancias de las diferentes variables que intervienen, siguiendo la regla de la propagación de errores. Estas varianzas y los factores de ponderación pueden ser fáciles de obtener en el caso de formulaciones cerradas, pero se requiere un análisis de sensibilidad en casos más complejos e incluso estimaciones por expertos.

En lo que sigue sólo se hacen comentarios conceptuales, principalmente referidos a las islas de Gran Canaria y Tenerife. Las valoraciones requieren estudios de detalle, que hasta el momento no se han realizado. Estos estudios son difíciles y costosos, además de discutibles ya que no es fácil un enfoque imparcial y bien ponderado. Lo que se comenta aquí se basa en parte en resultados del Proyecto MASE (véanse los agradecimientos), en la experiencia de muchos años de práctica de la hidrología subterránea y de la gestión de los recursos de agua y de la interpretación no cuantificada de situaciones reales.

## **INCERTIDUMBRE DEL CONOCIMIENTO Y VALORACIÓN DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA**

Las situaciones conducentes a incertidumbre en el conocimiento y gestión y por lo tanto en la gobernanza del agua subterránea son muy numerosas y difíciles de analizar de forma breve. Algunos aspectos destacan por ser los que contribuyen a la incertidumbre en mayor medida, con un peso de difícil reducción y con una parte importante que es irreducible. Por brevedad sólo se tratarán los componentes que hacen referencia a la evaluación de la cantidad de los recursos de agua subterránea, sin entrar en los relacionados con la salinidad y calidad, que son más complejos, pero no menos importantes. Los recursos de agua subterránea se evalúan por lo general a partir de un balance de agua en un acuífero o sistema acuífero, en el que hay cuatro componentes principales: recarga, descarga, variación del almacenamiento e intercambios con otras unidades del terreno, todo ello dentro de la difícil definición de los límites y condiciones del acuífero. Los límites hidrológicos más razonables, que suelen ser inciertos, pueden diferir mucho de las delimitaciones administrativas, lo que sucede en Canarias, que es el sujeto de esta comunicación, cuando se pasa del acuífero insular a partes del mismo que tienen significación específica en cuanto a sus condiciones, uso y evolución.

La recarga es una de las magnitudes más difíciles de evaluar ya que a la variabilidad temporal y espacial de la precipitación y de las condiciones atmosféricas se une la gran variabilidad del terreno y de la cobertura vegetal. Esto es especialmente cierto en Canarias, por los notables cambios altitudinales y accidentado relieve en extensas áreas y los muy notables cambios geológicos. Para obtener precisión se requiere un gran detalle territorial, pero éste no va acompañado por una suficiente densidad de información hidrometeorológica, aun cuando ésta es buena en comparación con otros lugares de España. En Canarias, la recarga procede esencialmente de la infiltración de la lluvia, con poca influencia nival y de la infiltración de agua superficial, aunque estas se producen local y esporádicamente. La generación de escorrentía de tormenta puede tener cierta importancia, en especial en diversas áreas de Gran Canaria, así como la recarga por retornos de riego en las áreas agrícolas periféricas. La evaluación de la recarga es un importante reto científico y técnico, que lleva asociada una notable incertidumbre en todos sus aspectos.

La cuantificación de la recarga se puede abordar mediante un variado elenco de métodos, que no son equivalentes ya que los valores obtenidos dependen de la escala espacial y temporal de trabajo. Los cálculos entrañan suposiciones, a veces arriesgadas, sobre los procesos y estimar los parámetros físicos locales y agregados, que es tanto más incierto cuanto más difiera el terreno de un medio granular homogéneo, lo que es común en Canarias. Por lo tanto, resultados son intrínsecamente inciertos. Los métodos de evaluación y cálculo de la recarga se presentan en distintas publicaciones generales (Scanlon et al., 2002; Lerner et al., 1990; de Vries y Simmers, 2002; Custodio y Llamas, 1976, Sec. 6; Custodio et al., 1997).

El método más utilizado para la evaluación de la recarga difusa por la lluvia es el balance de agua en el suelo a partir de datos diarios de la precipitación. Hay disponibles diversos

códigos de cálculo. En Canarias se ha usado ocasionalmente el Código BALAN (Samper et al., 2005) y en Tenerife se ha realizado balances en una detallada malla insular siguiendo un procedimiento similar al utilizado por el Centro de Estudios Hidrográficos para la Península Ibérica. Los resultados de la evaluación, aun en áreas relativamente homogéneas, tienen poco valor y pueden ser muy desviados si no se pueden calibrar los parámetros con observaciones del agua subterránea. Esta calibración, y luego validación si se dispone de un largo periodo de datos apropiados, se puede hacer mediante una simulación simplificada de los niveles freáticos o de la descarga de nacientes, modificando los parámetros en un rango razonable, para que reproduzcan aceptablemente las observaciones reales (Samper, 1998), en el supuesto de que no haya modificación importante del estado del acuífero a lo largo del tiempo. Esto es una seria limitación en Canarias ya que no hay registros continuos largos y frecuentes de niveles freáticos y estos suelen ser muy profundos, con lo que la respuesta a la recarga se retrasa y se amortigua mucho, además de que hay una importante perturbación por la explotación. En cuanto a los nacientes, la mayoría no tienen aforos ni se conocen bien sus condiciones hidrogeológicas, aparte de estar fuertemente alterados e incluso agotados por la explotación del agua subterránea. Eso hace que las evaluaciones sean altamente inciertas, independientemente del detalle territorial con que se hayan hecho. Para estimar la incertidumbre asociada hay que recurrir a análisis de sensibilidad, pero están poco sistematizados, son tediosos y rara vez se hacen. En Canarias no se han hecho hasta el momento, aunque hay unos primeros intentos para el Norte de Gran Canaria.

Otro método para la estimación de la recarga media multianual, independiente del de balance de agua, es el balance de la deposición atmosférica de cloruro en el suelo. Es un método a gran escala que agrega las condiciones del territorio para obtener valores promedio de la recarga a largo plazo, pero requiere una situación estacionaria, sin cambios en los usos del territorio ni climático (Custodio, 2009). La información necesaria no siempre está disponible en Canarias y su obtención lleva tiempo. Sin embargo, en el norte de Gran Canaria se ha avanzado notablemente, con resultados razonables (Cabrera et al., 2013), y con evaluación de la incertidumbre (Naranjo et al., 2014), los que se comparan bien con los resultados obtenidos en la Península Ibérica (Alcalá y Custodio, 2014). Se ha aplicado en el Sur de Cataluña (Espínosa, 2014), en el mismo contexto y como apoyo mutuo.

Los métodos de balance de agua en el suelo y de la deposición atmosférica de ión cloruro necesitan el soporte de un buen modelo conceptual de funcionamiento del acuífero, que combine métodos geológico–hidrogeológicos, hidrodinámicos, hidrogeoquímicos e isotópicos ambientales, a lo que muchas veces no se le ha dedicado suficiente atención, aumentando así la incertidumbre. Esto se ha tratado de resolver en diversos lugares de Canarias dentro de actividades universitarias, pero aún queda una gran labor pendiente.

La recarga por retornos de riego, importante en muchas áreas periféricas de Gran Canaria y Tenerife, se reduce a estimaciones groseras y a estudios de detalle. Tampoco se conoce bien la escorrentía superficial, que es de cierta importancia en Gran Canaria y que se podría conocer mejor de estar bien instrumentadas las numerosas presas de embalse y tomaderos existentes. Estos factores pueden tener un peso importante y aún dominante en los balances de agua de diversas áreas (Cruz-Fuentes et al, 2014a; 2014b) y contribuyen significativamente a incrementar la incertidumbre.

También la descarga de los acuíferos es notablemente incierta, por no estar bien identificada, por errores en la medida o estimación de los caudales naturales o artificiales de descarga y/o por la imposibilidad de evaluarla cuando la descarga se hace a un gran cuerpo de agua (el mar en el caso de Canarias) o como transferencia subterránea a otros acuíferos. Los inventarios de captaciones de agua subterránea en Gran Canaria y Tenerife son bastante buenos en comparación con otras áreas españolas pero aun así no son precisos en cuanto a los caudales captados ni a su temporalidad y a veces son de difícil

desagregación territorial.

Para cerrar el balance hace falta conocer las variaciones del volumen de agua almacenado en el acuífero, lo que implica disponer de un número suficiente y adecuado de puntos de control piezométrico que representen la variación del nivel freático, además de una buena geometría de los acuíferos. En Gran Canaria y Tenerife se produce un continuado consumo de reservas dinámicas de agua subterránea, de modo que su variación es un término importante del balance de agua. Su cálculo requiere conocer aceptablemente bien el valor de la porosidad drenable en la franja de variación de niveles, lo que es difícil para las formaciones volcánicas canarias y que además es variable en el espacio y en profundidad. Los errores de estimación pueden tener un coeficiente de variación que se puede suponer del orden de 0,5, lo que introduce una gran incertidumbre en los resultados.

La modelización matemática del flujo en el acuífero es una poderosa herramienta para encuadrar los valores del balance de agua con los datos hidrométricos, buscando su afino por calibración y validación y por lo tanto reduciendo la incertidumbre de la evaluación de los recursos de agua subterránea en condiciones de explotación y su evolución, con posibilidad de hacer estimaciones futuras en escenarios no lejanos que no se alejen de las situaciones históricas utilizadas. En Canarias se han construido modelos numéricos insulares de Gran Canaria (antiguos y un tanto obsoletos) y de Tenerife (actualizados varias veces para el Plan Hidrológico) y de áreas concretas en el valle de La Aldea (Gran Canaria, Cruz-Fuentes, 2014a) y del Macizo de Betancuria (Fuerteventura, Herrera y Custodio, 2014). Sin embargo, estos modelos son tienen bastante incertidumbre en los resultados a causa de la propia de las variables a reproducir y la de los parámetros que los conforman. En los casos insulares, la incertidumbre asociada a las condiciones de contorno laterales es pequeña por tratarse del borde costero, pero sin embargo el límite inferior está mal definido. Esta última circunstancia es de moderada relevancia en el interior de la isla, pero puede ser importante a lo largo de la periferia. Uno de los puntos más débiles es el pobre conocimiento de los parámetros hidráulicos de las formaciones geológicas, que además es muy difícil de mejorar en la práctica. Sin restar interés e importancia a esos modelos numéricos de flujo, que sin duda lo tienen, en especial el de Tenerife por sus sucesivas actualizaciones y ser una buena herramienta de toma de decisiones y planificación, no dejan de estar asociados a una notable incertidumbre de los resultados, que es difícil de reducir, por lo que se requiere prudencia en su utilización. Es posible obtener otras buenas calibraciones con resultados diferentes, además de que el ajuste a los datos (que son también inciertos) que da el mínimo error numérico no necesariamente respalda una más precisa simulación.

En Gran Canaria y especialmente en Tenerife los resultados aplicados a la planificación hídrica son notablemente sensibles al agotamiento de reservas de agua subterránea y a la irregularmente repartida descarga de agua subterránea al mar a lo largo de la costa, que puede ser importante. Además, la lenta evolución temporal tiene una gran relevancia en cuanto a la evaluación de escenarios futuros. Nótese, por demás, que las desigualdades territoriales afectan no solo a los acuíferos, de los cuales hacen poco uso las versiones últimas de la planificación, sino a las masas de agua.

## **LA INCERTIDUMBRE EN LOS ASPECTOS ECONÓMICOS, ADMINISTRATIVOS Y SOCIALES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El conocimiento hidrogeológico de Gran Canaria y de Tenerife es de moderado a pobre, lo que no excluye que sean unas de las islas volcánicas mejor conocidas. Es una valoración relativa a la importancia económica y social que tiene en ellas el agua subterránea, que habría requerido un mayor esfuerzo de conocimiento, observación e institucional que el que se tiene actualmente, y que además se hace con menor intensidad y dedicación que lo que

se hacía hace varias décadas.

No sólo hay incertidumbres hidrogeológicas sino que también existen y son grandes las referentes al valor económico y social del agua subterránea en Canarias. A esto se suma un cierto comportamiento errático de la administración pública insular, un intervencionismo no clarificado teniendo en cuenta la historia del comportamiento del sector privado, una pérdida de capacidad técnica sustituida por una creciente intervención política, sin una contrapartida suficientemente eficaz y decidida de los usuarios y de la sociedad civil. Los aspectos socio-económicos juegan un papel clave en la gestión del agua subterránea.

La gobernanza de las aguas subterráneas, como parte de la gobernanza del agua, y ésta de la gobernanza en general, debe cumplir sus cometidos en todas las circunstancias y por lo tanto bajo incertidumbre también. El actuar, decidir, acordar y avanzar, resolviendo los problemas de cada momento, tanto internos como de relaciones con el exterior, debe tener en cuenta esa incertidumbre.. Eso supone flexibilidad legal y administrativa, lo que no es la actual situación en España, aunque con reglas para evitar la arbitrariedad, oportunismo, corrupción y despilfarro de recursos humanos y económicos, evitando la conflictividad social y la litigiosidad. En Canarias, el hecho del aislamiento entre las islas, que impide la transferencia de agua física significativa entre ellas, crea un marco especial de gobernanza.

La gobernanza requiere de normas, administración pública e involucración de los usuarios y de la sociedad en general, con capacidad para abordar e internalizar la incertidumbre. La Ley de aguas canaria y su ley de referencia, la Ley de aguas española, es muy rígida y consolida derechos de uso del agua, lo que no favorece la gestión cuando los valores en que se basa son inciertos en situaciones en que la demanda potencial de agua subterránea es del mismo orden de magnitud o superior a los valores que se han calculado. De hecho esta una de las razones de la dificultad para aprobar los planes hidrológicos de las demarcaciones. Tal es el caso de Gran Canaria y Tenerife, aunque en ellas la existencia de comercio y mercados del agua ha favorecido el acople entre oferta y demanda de forma flexible, aunque con precios elevados –reflejan la escasez—pero a costa de interferencias y efectos sobre el medio ambiente. Faltan estudios respecto a los efectos sobre el medio ambiente y sus servicios ecológicos. No parece que su hipotética restauración se pueda hacer a un coste asumible frente a los beneficios que se derivarían, aunque estas aseveraciones entrañan gran incertidumbre. La intervención de la administración pública ofertando agua a precio controlado no afecta directamente a la incertidumbre de la gestión pero lo hace indirectamente por las distorsiones económicas que acaban encubriendo subvenciones que se pagan con fondos públicos a los que la sociedad podría haber dado otro destino, sin implicar que eso sea bueno o malo pero sí una nueva forma de incertidumbre poco o nada valorada.

Para la reducción de la incertidumbre asociada al uso y gestión –gobernanza-- de las aguas subterráneas, hasta donde es física y económicamente posible, se requieren estudios y sobre todo observaciones, el análisis periódico y por expertos de los datos obtenidos, transparencia y su puesta a disposición de todos. Aquí es donde los usuarios del agua subterránea podrían y deberían implicarse, conjuntamente con la administración del agua, participando en buena manera en el coste y la realización de las observaciones, hasta el nivel en que los beneficios netos que proporciona el agua subterránea lo requieran y permitan. Esto ha sido planteado en ocasiones en Canarias, pero sin efecto, ya sea por falta de concienciación y/o conocimiento, por falta de instituciones y por resistencia de la propia administración del agua que a nivel general –con excepciones-- no comprende la situación, no está preparada para afrontarla, quiere seguir limitándose a lo dispuesto normativamente o no quiere perder sus prerrogativas. Tampoco el estamento político parece querer afrontar la gobernanza del agua subterránea bajo incertidumbre ya que en Canarias el agua produce réditos políticos, aunque cada vez menores.

## CONSIDERACIONES FINALES

En el estado actual de conocimiento no es posible dar evaluaciones contrastadas de las incertidumbres de los valores de los recursos de agua subterránea en Gran Canaria y Tenerife, aunque algunos datos elaborados y consideraciones expertas permiten primeras aproximaciones groseras en forma de coeficiente de variación (CV), referido a conjuntos insulares, tanto para valores medios a largo plazo como para los valores anuales. La estimación de la recarga a los acuíferos, que es relativamente importante, puede tener un CV de 0,2 a 0,3 o incluso hasta 0,4 de acuerdo con el balance de deposición atmosférica de cloruros. Al evaluar los recursos, dado que las extracciones son conocidas con una incertidumbre probable de 0,1 en Tenerife y quizás de 0,2 en Gran Canaria, sería posible afinar los balances, pero las salidas al mar y en especial el consumo de reservas son muy inciertos, sobre todo en Tenerife, con lo que los recursos de agua subterránea en ambas islas pueden tener un CV estimable groseramente en 0,2 a 0,3 o incluso algo más. Aunque la incorporación de nuevos recursos de agua puede hacer disminuir la incertidumbre de los recursos de agua totales, las aguas subterráneas son cuantitativamente dominantes y previsiblemente lo continuarán siendo en las próximas décadas. A las incertidumbres de la cantidad de agua subterránea, dejando de lado la creciente importancia de la calidad, se une la de los costes crecientes y la de si se va a disponer de inversiones para mantener la producción del sistema de captación de agua subterránea, lo que se traduce en incertidumbre creciente de la demanda de agua. Estas son las condiciones en que se han de gestionar los acuíferos, o sea de la gobernanza, en un marco de incorporación de nuevos recursos e intervención administrativa creciente, pero también de más presión por parte de los usuarios de agua, con una composición y requisitos que son cambiantes en el tiempo. Para abordar y resolver los problemas planteados de forma socialmente eficiente, al menor coste y con garantía, se requiere una nueva forma de relación entre la administración y los usuarios del agua, dentro del deseable cambio de paradigma en el uso del agua, en el que se redistribuyan los papeles y responsabilidades, siendo la final la de la administración, con mucha mayor vinculación institucional y económica de los usuarios. Son condicionantes nuevos a desarrollar y necesarios para internalizar la incertidumbre.

## AGRADECIMIENTOS

Se han utilizado ideas recogidas durante el desarrollo del Proyecto MASE (Minería del Agua Subterránea en España), que con el apoyo económico de Aqualogy y la supervisión de CETaqua se desarrolla en el Departamento de Ingeniería del Terreno de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Barcelona. A dicho proyecto han contribuido numerosos expertos canarios, a los que se agradece su importante aportación.

## REFERENCIAS

- Alcalá, F.J., Custodio, E. (2014). *Spatial average aquifer recharge through atmospheric chloride mass balance and its uncertainty in continental Spain*. Hydrol. Proces., 28: 218–236.
- Cabrera, M.C.; Naranjo, G.; Cruz–Fuentes, T.; Hernández–Quesada, P.; Benavides, A.; Estévez, E.; Martín, L.F., Custodio, E. (2013). *Aplicación del balance de cloruros para la estimación de la recarga natural al acuífero del norte de Gran Canaria*. X Simposio de Hidrogeología. Granada. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Asociación Española de Hidrogeólogos. Madrid: 499–508.
- Cruz–Fuentes, T.; Heredia, J.; Cabrera, M.C.; Custodio, E. (2014a). *Behaviour of a small sedimentary volcanic aquifer receiving irrigation return flows: La Aldea, Gran Canaria, Canary Islands (Spain)*. Hydrogeology Journal. DOI 10.1007/s10040–013–1094–9.

- Cruz-Fuentes, T., Naranjo Ayala, G., Cabrera Santana, M.C., Custodio, E. (2014b). *Estimación de la escorrentía superficial mediante la generación automática del número de curva con un SIG: aplicación al norte de Gran Canaria (Islas Canarias, España)*. En: J. Gómez-Hernández y J. Rodrigo-Illarri, II Congreso Ibérico de Aguas Subterráneas, Valencia. Ed. Universidad Politécnica de Valencia: 217-232.
- Custodio, E. (2009). *Estimation of aquifer recharge by means of atmospheric chloride deposition balance*. Contributions to Science 5(2): 81–97.
- Custodio, E., Llamas M.R. (1976). *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega. Barcelona: 1–2350.
- Custodio, E., Llamas, M.R., Samper, J. (eds.) (1997). *La evaluación de la recarga a los acuíferos en la planificación hidrológica*. Instituto Tecnológico Geo-Minero. Madrid: 1–455.
- De Vries, J.J., Simmers, I. (2002). *Groundwater recharge: an overview of processes and challenges*. Hydrogeology Journal, 10(1): 5–17.
- Espinosa, S. (2014). *Estimación de la recarga media anual de acuíferos: aplicación al Baix Ebre*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona: 1-286.
- Herrera, Ch., Custodio, E. (2014). *Groundwater flow in a relatively old oceanic volcanic island: the Betancuria area, Fuerteventura Island, Canary Islands, Spain*. Science of the Total Environment (STOTEN) (en prensa).
- Lerner, D.N., Issar, A.S., Simmers, I. (1990). *Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge*. International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology 8. Heise: Hannover; 1–345.
- Naranjo, G., Cruz-Fuentes, T., Cabrera, M.C., Martín, L.F., Custodio, E. (2014). *Avances en la estimación de la recarga natural mediante la aplicación del método del balance de cloruros atmosféricos al acuífero del norte de Gran Canaria*. En: J. Gómez-Hernández y J. Rodrigo-Illarri, II Congreso Ibérico de Aguas Subterráneas, Valencia. Ed. Universidad Politécnica de Valencia: 217-232.
- Samper, J. (1998). *Evaluación de la recarga por la lluvia mediante balances de agua: utilización, calibración e incertidumbres*. Boletín Geológico Minero, 109: 31–54.
- Samper, J., Huguet, Ll., Ares, J., García-Vera, M.A. (2005). *User's guide VisualBALAN v.2.0: código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga*. E. T. Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, A Coruña: 1-150.
- Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P.G. (2002). *Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge*. Hydrogeology Journal, 10(1): 18–39.