



El aprovechamiento tradicional de las aguas subterráneas en las Islas Canarias

Dr. Juan Carlos Santamarta Cerezal

Prólogo de Emilio Custodio Gimena (Real Academia de Ciencias)



PREMIO DE INVESTIGACIÓN *AGUSTÍN DE BETANCOURT*

EL APROVECHAMIENTO TRADICIONAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS ISLAS CANARIAS

Dr. Juan Carlos Santamarta Cerezal

Prólogo de Emilio Custodio Gimena (Real Academia de Ciencias).



PREMIO DE INVESTIGACIÓN AGUSTÍN DE BETANCOURT



SERVICIO DE PUBLICACIONES DE LA
FUNDACIÓN CAJACANARIAS
(Publicación nº 553)
Investigación nº 71

© Juan Carlos Santamarta Cerezal, 2018.

© Fundación CajaCanarias. Plaza del Patriotismo, 1, 2ª.

38002 Santa Cruz de Tenerife

www.cajacanarias.com

info@cajacanarias.com

ISBN: 978-84-7985-423-2

DEPÓSITO LEGAL: TF 321-2020

Premio de Investigación Agustín de Betancourt 2018.

Maquetación: Litografía Santa Elena S.L.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con la autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal).

ÍNDICE

PRÓLOGO	7
PRÓLOGO DEL AUTOR.....	11
RESUMEN.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. METODOLOGÍA.....	21
2.1 Introducción.....	21
2.2 Fase de investigación en ingeniería minera	22
3. INGENIERÍA MINERA.....	23
3.1 Introducción.....	23
3.2 Inventario y potencial hidroeconómico (PHE) de las explotaciones mineras relacionadas con el agua en Canarias	26
3.3 Galerías y minas de agua	28
3.3.1 Galerías convencionales horizontales o “dike tunnel”. 28	
3.3.2 Galerías de nacientes	33
3.3.3 Galerías en trancada o “inclined shaft”	34
3.3.4 Pozo-galería	35
3.3.5 Minas de agua.....	36
3.4 Descripción y construcción de una galería-mina de explotación de aguas subterráneas	37

3.5	Innovaciones constructivas: regulación de caudales mediante la reconstrucción de diques geológicos.....	43
3.6	Huella de carbono de las minas de agua	46
3.6.1	Introducción.....	46
3.6.2	Metodología de cálculo de la huella de carbono de las explotaciones mineras del agua	47
3.6.3	Resultados	51
3.7	Inversiones necesarias para la construcción de una mina/galería de agua. Estudio del caso en las Islas Canarias	52
3.8	El mercado de las aguas subterráneas en Canarias.....	54
3.9	Estudio de la percepción social de los recursos hídricos en las Islas Canarias	56
3.10	Gas radón y galerías de agua en Canarias	65
4.	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	68
a)	Conclusiones generales sobre la ingeniería minera del agua realizada en las Islas Canarias	68
b)	Conclusiones sobre los aspectos ambientales	73
5.	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	81

PRÓLOGO

Las formaciones volcánicas son sumamente diversas geológica e hidrogeológicamente, así como las circunstancias en que se generan sus recursos de agua subterránea, el medio social que requiere agua y el medio ambiente hídrico y los servicios que proporciona al ser humano. Como consecuencia, los modos de captar y poner a disposición recursos de agua con un determinado grado de garantía, en cantidad y calidad, en tiempo y lugar, son también muy diversos y están en parte condicionados por la situación local y la tradición.

En lugares con una buena recarga por la precipitación dominan los manantiales —nacientes— y los tramos de ríos y barrancos alimentados por los mismos. El agua subterránea que descarga y que los origina se capta directamente, con dispositivos sencillos. De ellos nacen los elementos de distribución: canales, tuberías y en su caso instalaciones de bombeo. No es raro que en las captaciones a gran altitud se sientan fuertemente los episodios de menor precipitación, con sensación de existir sequía aun con precipitación en el año muy grande en valor absoluto. Tal sería el caso de la isla de La Reunión o de determinadas áreas de las islas Hawaii. Por razones de mayor producción concentrada y de regularidad, la simple captación se modifica a obras adicionales, tales como la excavación de galerías para mantener la descarga por gravedad. En áreas de menor relieve y niveles freáticos someros, es frecuente encontrar excavaciones de gran diámetro de las que se extrae el agua tradicionalmente mediante fuerza animal o de bombas en cabecera. Tal es el caso de varios valles del Macizo del Deccan, en la India. Salvo situaciones excepcionales en áreas áridas, esos materiales volcánicos y

volcano-sedimentarios no se desarrollaron hasta que se pudieron hacer perforaciones verticales penetrantes de forma habitual, en especial perforar pozos tubulares y acondicionarlos adecuadamente de forma económica, además de disponer de bombas apropiadas —es especial las de turbina con motor sumergible y acomodables en un tubo vertical— y de energía suficiente —en general eléctrica autogenerada o de red—. Esto se inició con obras costosas y complejas en el tercer tercio del siglo XIX, se desarrolló en la primera mitad del siglo XX y en numerosos lugares se propagó exponencialmente en la segunda mitad de dicho siglo. Actualmente sigue el desarrollo en determinadas áreas volcánicas en vías de mejora económico-social, como en Etiopía y Somalia, pero en muchas otras con explotaciones de agua subterránea bien establecidas y en ocasiones excesivas, se está en una etapa de gestión de los recursos en cantidad y calidad de forma integrada, de modo que los acuíferos y los dispositivos de captación del agua subterránea son parte de un conjunto de fuentes de recursos, almacenamiento y tratamiento de agua.

El presente escrito hace referencia al caso particular de las islas altas de la Macaronesia y en particular del archipiélago de Canarias, énfasis en las islas altas. Se trata de circunstancias específicas, que en buena parte están condicionadas por una demanda de agua para agricultura de regadío con vistas a la exportación. Se parte de finales del siglo XIX, para culminar en las décadas de 1940 a 1970. El escrito hace referencia especial a Tenerife y La Palma, donde dominan las galerías de captación de media y gran altura. Los pozos tradicionales —pozos canarios— tienen menos protagonismo en este escrito y los pozos perforados sólo se mencionan, aun cuando son relevantes en Gran Canaria y en determinadas áreas costeras. Esto es una opción decidida por el autor, que para tratar un tema muy amplio ha preferido poner el énfasis

en lo más tradicional, específico y llamativo y que todavía proporciona una parte importante de los recursos de agua naturales e incluso de los industriales.

El autor es un buen conocedor de las captaciones de aguas subterráneas en Canarias, por formación como ingeniero y como residente desde hace ya un largo tiempo. Su experiencia más intensa es en las islas occidentales, pero también en las otras islas de la Macaronesia y con buena información de otras situaciones con actuaciones similares, aunque en circunstancias distintas. El autor ha puesto mayor énfasis en los aspectos de ingeniería de las captaciones en vez de en los recursos de agua subterránea, ya que este último aspecto se trata en las memorias de los planes hidrológicos insulares, en la planificación inicial y en los dos planes hidrológicos siguientes, derivados de la transposición a la legislación de aguas canaria y subsidiariamente de la española de la Directiva Marco del Agua europea, de 2000, y que están en proceso de actualización en el tercer ciclo de planificación que debe aplicarse a partir del final de 2020.

El lector va a encontrar una variada visión de las captaciones tradicionales de agua subterránea en las islas Canarias altas, con detalles que explican históricamente lo que hoy se encuentra, que es el resultado de una evolución de más 100 años en condiciones económicas y sociales rápidamente cambiantes, que el ciudadano actual no debe olvidar para reconocer la labor ingente de muchos canarios de generaciones anteriores y mantener viva la cultura del agua en lugares de escasez de recursos y alta demanda potencial.

*Emilio Custodio Gimena · Dr. Ingeniero Industrial
Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*

PRÓLOGO DEL AUTOR

Hablar de un recurso tan valioso como el agua nunca es fácil. Si, además, hablamos de ese recurso en Canarias, la tarea se hace más compleja todavía por las connotaciones económicas, sociales y técnicas que tienen los recursos hídricos en las islas.

Históricamente, el habitante del archipiélago canario ha tenido que hacer frente, sin ayuda externa, a una búsqueda infatigable del agua, en una región donde esta escaseaba. Usando todas las estrategias posibles que le permitía una orografía y paisaje singular de origen volcánico. Entre estas estrategias, la construcción de galerías o minas de agua para drenar los acuíferos volcánicos, ha sido, sin duda, la más exitosa y característica del archipiélago. Hasta tal punto, que, a día de hoy, la mayoría de los recursos hídricos en las islas occidentales (El Hierro, La Palma y Tenerife), provienen de esta técnica minera. No se puede concebir el ciclo integral del agua en las Islas Canarias sin hacer referencia a las galerías de agua. Lejos de ser una técnica en extinción, a día de hoy todavía dispone de un peso específico en la oferta de agua.

Esta estrategia para la captación del agua subterránea, no sólo es utilizada en Canarias, existen numerosos ejemplos en otras partes del mundo, que, con mayor o menor éxito, utilizan la perforación de minas horizontales para obtener el agua en lugares donde escasean las aguas superficiales y precipitaciones en abundancia.

Después de 15 años dedicado al estudio del agua en las islas volcánicas, es de justicia recordar a las personas que me introdujeron en esta temática. De ahí, que en estos momentos recuerde las charlas con Emilio Custodio, al que agradezco el prólogo de este trabajo. También debo

hacer referencia a grandes amigos y colegas que, de alguna manera, han formado parte de mis proyectos, y en algunos casos aventuras, en las que he participado. Luis Enrique Hernández Gutiérrez, Rafael Lario Bascones, Roberto Poncela, Rayco Marrero, Marta Robledo y Rafael Fenoll. En general, agradezco a las numerosas personas vinculadas a las galerías que han tenido la amabilidad de acompañarme o facilitarme el trabajo en las explotaciones. Pido disculpas, de antemano si me olvido de alguien.

El documento, en definitiva, es una recopilación de diferentes investigaciones realizadas los últimos años con el objetivo de caracterizar a la minería del agua realizada en Canarias. En todas sus vertientes: técnica, económica, social y medioambiental. Algunos desarrollos provienen de mis trabajos de investigación y estudios técnicos realizados durante los últimos años, en forma de tesis doctorales o en manuales editados en formato de libro, todos ya, disponibles en internet. Es de destacar en este documento, que por primera vez se realiza el cálculo de la huella de carbono de una galería de agua, lo cual es un elemento interesante para comparar esta técnica de aprovechamiento hidráulico con otros sistemas integrados en el ciclo integral del agua en las islas, como puede ser, la desalinización de agua de mar. También es interesante destacar el estudio social sobre las aguas subterráneas y su relación con los residentes en las Islas. Estudio, donde se hace palpable la vinculación de la población con las galerías de agua, su mercado y gestión.

Finalmente, debo agradecer a la Fundación Cajacanarias la concesión del Premio "Agustín de Betancourt" en 2018 por estos trabajos vinculados al agua. Gracias también por la publicación de este documento, que espero que sea del agrado de los lectores e interesados en la temática.

Me gustaría que el premio y los trabajos realizados se tomaran como un homenaje a todos aquellos, que, de alguna manera, han estado o están vinculados a la minería del agua, en especial a los trabajadores de las galerías y a los que invirtieron sus ahorros en proyectos de captación de aguas subterráneas en unos años muy difíciles. A ellos les debemos disfrutar de unos recursos hídricos de calidad y en cantidad.

Dr. Juan Carlos Santamarta
San Cristóbal de La Laguna, marzo 2020

RESUMEN

La importancia del abastecimiento de agua en un terreno aislado, como son las islas volcánicas oceánicas, justifica la realización de un estudio técnico y científico sobre los diferentes aprovechamientos hídricos subterráneos existentes, haciendo especial intensidad en los relativos a las explotaciones mineras. Esta iniciativa, también se justifica, por la ausencia de manuales y documentos especializados relacionados con este tipo singular de minería, la cual, aprovecha los recursos hídricos en terrenos volcánicos. Si bien, existen explotaciones similares en otros terrenos de origen no volcánicos, como por ejemplo: en la Comunidad Valenciana o Cataluña.

Las islas volcánicas tienen una geología singular que, condiciona enormemente, la forma de aprovechar los recursos hídricos. En general, esta es más compleja que en los territorios continentales. El agua en las islas volcánicas es un activo fundamental para el desarrollo económico y vital de sus habitantes. En el caso particular de Canarias, podemos afirmar es uno de los lugares del mundo donde más conocimiento se dispone sobre sus aguas subterráneas, dado que existen numerosas explotaciones hidráulicas que permiten adentrarse en el acuífero varios miles de metros. El recurso hídrico en Canarias proviene principalmente de las galerías o minas de agua, pozos y sondeos. Salvo en las islas orientales, como Fuerteventura y Lanzarote, donde la ingeniería de la desalinización de agua de mar es predominante al ser escasas las precipitaciones y los recursos hídricos subterráneos con calidad suficiente. Por lo tanto, se ha desarrollado una minería única en el mundo, que se estudia y analiza en profundidad, en el presente estudio.

Las islas Canarias tienen similitudes con lo que ocurre en otros sistemas insulares volcánicos oceánicos, como por ejemplo: Madeira (Portugal), Jeju (Corea del Sur), Azores (Portugal), o incluso, el archipiélago de Hawái (EE.UU.). En estas islas, las características de su hidrología, es similar a Canarias, aunque el aprovechamiento de los recursos hídricos, por unas condiciones climáticas con mayor disponibilidad de precipitaciones, se desarrolla de una manera diferente, aunque se presentan estrategias comunes.

La presente investigación, estudia la ingeniería y técnica aplicada a las explotaciones mineras de las Islas Canarias, analizando las variables implicadas en la extracción y aprovechamiento del recurso hídrico. El documento también pretende servir de base a futuros estudios y proyectos, en el área de los recursos hídricos de las islas volcánicas, no solo en Canarias, si no, en otros sistemas insulares oceánicos. Donde pueda ser factible el desarrollar una ingeniería minera para el aprovechamiento del recurso hídrico, de una manera sostenible, que pueda complementar a las actuales soluciones para el abastecimiento hídrico que, en ocasiones, pasan por la desalinización de agua de mar.

INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos en investigación e ingeniería, que se han realizado en las Islas Canarias para disponer de unos recursos hídricos, en cantidad y calidad suficientes, han sido muy importantes a lo largo de su historia. Esos avances tecnológicos, pueden ser transferidos a otras regiones insulares con menor disponibilidad del recurso. No se comprende la historia de las Islas Canarias sin la vinculación al agua.

Históricamente, para satisfacer las demandas hídricas en las Islas Canarias, se recurría a las aguas superficiales que transcurrían por los barrancos de las islas con mayor pluviometría, como era el caso por ejemplo de Gran Canaria. Los cambios de cultivo y el aumento de la población provocaron que los recursos hídricos fueran cada vez necesarios en mayor cantidad. La solución que se planteó fue la construcción de captaciones subterráneas, mediante minas, pozos y sondeos, el almacenaje de las aguas superficiales mediante presas y balsas y, por último, la producción industrial del agua, mediante plantas desalinizadoras de agua de mar.

A pesar de aumentar la oferta de agua en las islas gracias a estas obras hidráulicas, se hacía necesaria una gestión integral del agua que contemplara todos los actores participantes en el ciclo hidrológico. Este aspecto es muy importante en los sistemas aislados como los archipiélagos, donde debe primar la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos, por ello, no sólo es necesario captar el agua, si no gestionarla de una manera sostenible.

La hidrología, el aprovechamiento y la captación del agua, con sus más variadas estrategias en el archipiélago canario es única, singular

y eficiente, todo ello fruto de un estudio profundo de la hidrogeología, es decir, del funcionamiento de las aguas subterráneas. Aunque en sus inicios, hubo mucho ensayo y error, ha existido un desarrollo tecnológico de maquinarias e ingenios hidráulicos, en especial a lo largo de los últimos 130 años. Dentro de las máquinas importadas están las máquinas de tracción minera de la cuenca Asturiana y Leonesa. De ahí, que se hable de una conexión con la minería tradicional desarrollada en la península Ibérica.



Figura 1; Plataneras en las isla de La Palma; es un cultivo gran consumidor de recursos hídricos subterráneos alumbrados por las galerías.

El funcionamiento hidrológico de los sistemas acuíferos canarios ha sufrido una profunda alteración, desde las primeras acciones humanas encaminadas a la obtención de recursos subterráneos, fundamentalmente en las islas de Gran Canaria y Tenerife y, en menor grado, en La Palma, La Gomera y El Hierro. La situación actual de los acuíferos insulares es la de consumo de reservas, con los niveles freáticos descendiendo continuamente en la mayoría de los acuíferos y, por tanto, con

la necesidad de reprofundizaciones sucesivas de pozos y galerías para llegar al agua. Se produce así una dinámica no sostenible, una minería del agua fósil, lejos del posible equilibrio que implica sólo explotar los recursos renovables, es decir, drenar sólo la fracción de agua que se recarga anualmente. Pero determinar esa cantidad de agua susceptible de ser explotada es una tarea muy compleja. Todo ello implica la necesidad de un estudio profundo para sentar las bases y objetivos para posteriores investigaciones relativas a los acuíferos volcánicos y sus sistemas de explotación.

El objetivo general del presente estudio, es analizar el estado actual de la técnica y caracterizar las diferentes estrategias para aprovechar los recursos hídricos subterráneos mediante galerías o minas, haciendo especial referencia en:

- Los estudios previos necesarios.
- Geología.
- Estudio de precipitaciones.
- Hidrología.
- Cobertura vegetal de las zonas de recarga.
- Hidrogeología, movimiento de las aguas subterráneas.
- Materiales volcánicos que puede atravesar la traza de la mina.
- Problemas geotécnicos.
- Finalidad y gestión del agua alumbrada.
- Aspectos medioambientales.
- Los sistemas constructivos.
- Aspectos ambientales.
- Aspectos sociales y económicos.
- Gestión, seguridad y mantenimiento de las explotaciones.

Dada la singularidad de estas explotaciones mineras y de que no

existe apenas documentación relacionada, el documento generado, en la presente investigación, supondrá un punto de partida para los profesionales mineros y personal científico que quieran acometer un proyecto técnico, de prospección de aguas o de investigación en esta área de conocimiento singular. Se contemplan, como nuevas vías de investigación abiertas, la posibilidad de realizar investigaciones avanzadas de prospección de acuíferos en islas volcánicas.

Los objetivos particulares que plantea el presente estudio son los siguientes:

- Describir las instalaciones fundamentales de una explotación minera para la extracción de aguas.
- Calcular la huella de carbono de una instalación minera de agua dulce para que sea posible la comparación con otros sistemas de aprovechamiento o con la producción industrial de agua.
- Sensibilizar con los problemas relativos a la seguridad minera de una explotación de estas características.

2.1 Introducción

Las Islas Canarias constituyen una de las regiones volcánicas más interesantes del planeta ya que en ellas han acontecido la mayoría de los procesos volcánicos que pueden suceder, pudiéndose encontrar un amplio espectro de materiales y estructuras volcánicas. Por este motivo, cualquier estudio aplicado de ciencias de la tierra, que se realice en Canarias es fácilmente extrapolable a cualquier otra región con formaciones volcánicas del mundo.

El estudio de los recursos hídricos y sus sistemas de aprovechamiento se puede hacer de diferentes maneras, la seleccionada para el presente trabajo es la recopilación de información técnica y literatura asociada, así como la visita "in situ" de las explotaciones para estudiar de primera mano las singularidades técnicas de las galerías o minas de agua bajo diferentes puntos de vista, incluyendo entrevistas a los responsables técnicos de las instalaciones. Los aspectos "clave" estudiados son los siguientes:

- Técnica aplicada para la perforación.
- Seguridad en las instalaciones.
- Maquinaria utilizada.
- Caudales alumbrados.
 - Calidad.
 - Cantidad.
 - Distribución
 - Uso.
- Aspectos económicos y sociales.

2.2 Fase de investigación en ingeniería minera

En relación a este apartado se realizaron las siguientes actividades:

- Recopilación de documentación histórica vinculada a la minería del agua en las Islas Canarias.
- Recopilación de documentación técnica relacionada con galerías o minas para la captación de aguas subterráneas en otras partes del mundo, como por ejemplo el archipiélago de Hawái en EE.UU.
- Recopilación de documentación técnica relacionada con las explotaciones de aguas subterráneas en las Islas Canarias, con especial referencia a las minas o galerías de agua. En particular, fundamentalmente el caso de la isla de Tenerife, donde existe el mayor número de estas explotaciones.
- Recopilación de proyectos técnicos modernos de construcción, mejora o reperforación, para el desarrollo de una metodología para su uso en proyectos de minas o galerías de agua.
- Visita a explotaciones mineras y entrevistas con operarios y técnicos, fundamentalmente las Direcciones Facultativas.
- Entrevistas con responsables de la Administración Canaria relacionados con la seguridad e inspección de las explotaciones mineras.
- Entrevistas con responsables de las explotaciones mineras.
- Entrevistas con asociaciones de productores y comercializadores de las aguas subterráneas.
- Discusión y análisis de la documentación recopilada.
- Realización y análisis de los componentes e instalaciones de una explotación minera de captación de aguas.
- Descripción de los procesos constructivos de las minas de agua.

3.1 Introducción

El presente apartado del estudio es de gran aplicación, se centra en el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos, principalmente los obtenidos mediante galerías o minas de agua dulce. Estos términos se usarán indistintamente (galería o mina) aunque, en algunas islas, esta denominación presenta matices. Por ejemplo en Gran Canaria, se utiliza el término mina para una perforación transversal al barranco que aprovecha el flujo subálveo de las aguas subterráneas del barranco. Existen también sondeos y pozos, aunque su construcción es idéntica a cualquier otro lugar del mundo, salvo los pozos canarios. Estos pozos tienen un mayor diámetro, aproximadamente 3 metros, lo que permitía el trabajo de perforación de varios operarios, normalmente dos o tres. Pueden llegar a alcanzar grandes profundidades, de más de 200



Figura 2; Pozo tipo canario en la isla de La Palma.

metros. Los sistemas constructivos de estas infraestructuras se ven notablemente influenciados por los factores geológicos de un terreno volcánico y, por supuesto, su heterogeneidad.

En España, a lo largo de todo su territorio e islas, existen numerosas explotaciones denominadas galerías drenantes, en total 8.136 (Antequera, Iranzo & Hermosilla, 2014). Como se comentó, la mayoría de las explotaciones se localizan en la zona de influencia del mar Mediterráneo, es decir, Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia, Andalucía y las islas Baleares. Según los citados autores, una parte importante de estas galerías se sitúan en las Islas Canarias (1.572), el número varía ligeramente si se consulta el inventario propuesto por los Planes Hidrológicos de cada isla (1.662). El 20% de las galerías drenantes explotan recursos hídricos de acuíferos volcánicos, objeto de estudio de la presente investigación.

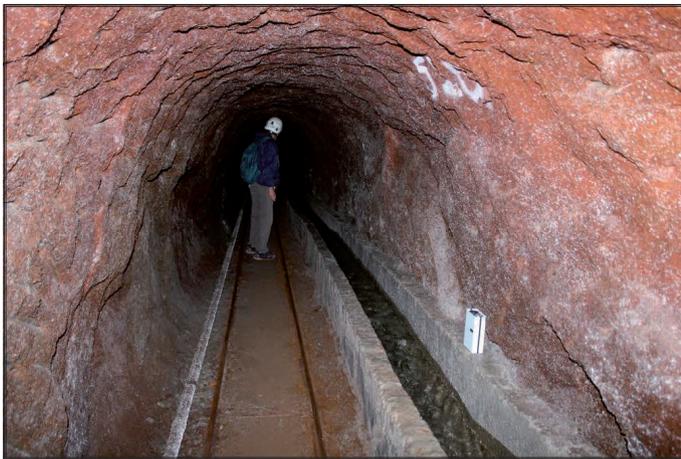


Figura 3; Sección de una galería, con el canal de agua a la derecha.

Un concepto fundamental, para entender el aprovechamiento del acuífero por galerías de agua, a unas cotas tan elevadas sobre el nivel del mar, es que el acuífero de las vertientes está sobreelevado debido a las formaciones geológicas denominadas diques y las diferentes formaciones impermeables. Los diques son como paredes verticales que nacen de los puntos de emisión volcánica, se forman por un enfriamiento rápido de ese magma que asciende de manera rápida por diferentes vías. Estas formaciones compartimentan el acuífero volcánico y forman verdaderos enjambres y celdas donde el agua se almacena. Estos diques basálticos, crean como un escalonamiento del acuífero, con elevados gradientes hidráulicos, que hace que sea un sistema dinámico. Estas formaciones pueden estar dispuestas de forma paralela al flujo de agua subterránea, o bien de manera perpendicular, lo cual es más beneficioso para la perforación que los atraviese, porque funcionan como presas en el subsuelo reteniendo el agua. La mayor concentración de diques se establece en las dorsales de las islas. Estas zonas suelen ser la de mayor pluviometría de las islas, tanto lluvia vertical como horizontal (precipitación oculta o de niebla provocada por vientos alisios). Son zonas donde más elevado está el acuífero, por encima de los 1000 metros sobre el nivel del mar, aunque actualmente y, por la sobreexplotación del recurso hídrico, está en descenso continuo en algunas zonas de las islas. Esto supone, que muchas galerías se tengan que reperfilar o bien, al quedar por encima del nivel freático, se abandonan.

Se puede considerar también como obras de aprovechamiento subterráneo minero a los pozos convencionales, sondeos y pozos tradicionales canarios, unos 6.000 en todo el archipiélago canario. Su profundidad también tiene unas dimensiones nada usuales, que en algunos casos pueden llegar a 700 metros (Vilafior, Tenerife). La profundidad de

los pozos implica unos sistemas de bombeo en serie importantes, con un gran consumo energético y problemas con los gases volcánicos en cotas profundas que afectan a la seguridad del personal encargado de su mantenimiento.



Figura 4; Dique volcánico.

3.2. Inventario y potencial hidroeconómico (PHE) de las explotaciones mineras relacionadas con el agua en Canarias

Según el Gobierno de Canarias (2017) a través de los diferentes Planes Hidrológicos, en Canarias existen un total de 1662 galerías y 5274 pozos. La producción de recursos hídricos de las galerías es de 207 hectómetros cúbicos (hm^3) al año. Un hectómetro cúbico es la unidad de volumen para cuantificar la cantidad drenada de agua por parte de una obra o aprovechamiento hidráulico; equivale a 1.000.000 de m^3 . Esta cantidad de recurso supone un potencial hidroeconómico (PHE), valor económico de los caudales drenados puestos en el mercado tomando como precio de venta de referencia 0,65 céntimos de euro por metro

cúbico, de 134 millones de euros. Los pozos, con un caudal aproximado de 136 hectómetros cúbicos al año (sin contar con Fuerteventura) suponen un PHE de 88 millones de euros.

Conviene indicar que la calidad del agua alumbrada por estos pozos es deficiente, con conductividades eléctricas (CE) muy elevadas que van de los 2000 a los 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual limita notablemente su uso, salvo que se construyan instalaciones de desalobración de aguas, lo cual supone un coste energético y económico importante.

El total del caudal alumbrado por las explotaciones de agua subterránea es de 343 hm^3 por año. Estos caudales podrían sobradamente utilizarse para su uso en abastecimiento urbano como se puede ver en la tabla 1.

En 2018 el PIB (Producto Interior Bruto) de Canarias fue 46.029 millones de euros, por lo que el agua subterránea supone aproximadamente un 0,29% del PIB de las Islas, una cantidad nada desdeñable.

Tabla 1; Explotaciones mineras para la extracción de aguas subterráneas, datos provenientes de los diferentes Planes Hidrológicos vigentes (Gobierno de Canarias, 2017), adaptado y con datos de Santamarta (2009, 2017).

Isla	Pozos	Caudal pozos ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Galerías	Caudal galerías ($\text{hm}^3/\text{año}$)	Observaciones
Lanzarote	120	<5000 m^3	7	0,146	Bajo rendimiento y problemas de salinidad
Fuerteventura	2720	n. d.	n. d.	n. d.	No hay datos precisos sobre el número de pozos y valores de extracción
Gran Canaria	1876	47	431	47	El volumen y la calidad del agua extraída varían según cotas

Isla	Pozos	Caudal pozos (hm ³ /año)	Galerías	Caudal galerías (hm ³ /año)	Observaciones
Tenerife	393	64	1051	120	El volumen y la calidad del agua extraída varían según cotas
La Gomera	72	3,71	5	0,312	El aprovechamiento de recursos subterráneos es menos de la mitad del total del consumo
La Palma	69	18,5	162	39,3	Más de la mitad de los pozos están abandonados
El Hierro	24	3	6	0,175	Existen pozos con galerías y galerías en trancada

La mayoría de los recursos hídricos alumbrados o producidos industrialmente en las islas van destinados a la agricultura.

3.3 Galerías y minas de agua

A continuación se describen los diferentes tipos de explotaciones existentes de galerías de aguas en las Islas Canarias, en algunos casos se hace referencia también a su denominación en otros archipiélagos.

3.3.1 Galerías convencionales horizontales o "dike tunnel"

En general, las minas o galerías de agua son perforaciones o túneles con una sola boca, denominada bocamina en el argot minero, y una sección media de 1,5 x 2 metros o incluso menor, aunque las realizadas por la Administración Canaria son de dimensiones sensiblemente mayores; sólo en las islas Canarias hay más de 1.500 perforadas. Los trabajos de perforación se realizaban antiguamente con medios mecánicos, aunque el uso de explosivos se generalizó a mediados del siglo XX. Se dispo-

nen mediante una perforación ligeramente inclinada, por lo que no hace falta bombear el agua para su aprovechamiento. La galería tiene como finalidad alcanzar el acuífero y extraer el agua. Normalmente, cuando se llega a la zona saturada, se produce un alumbramiento abundante. En ese momento, se drenan las denominadas aguas de reserva, más cargadas de sales, con mayor tiempo de residencia en el acuífero, en contacto con la roca. Posteriormente, los caudales tienden a estabilizarse mediante las aguas renovables o de recarga (más jóvenes).

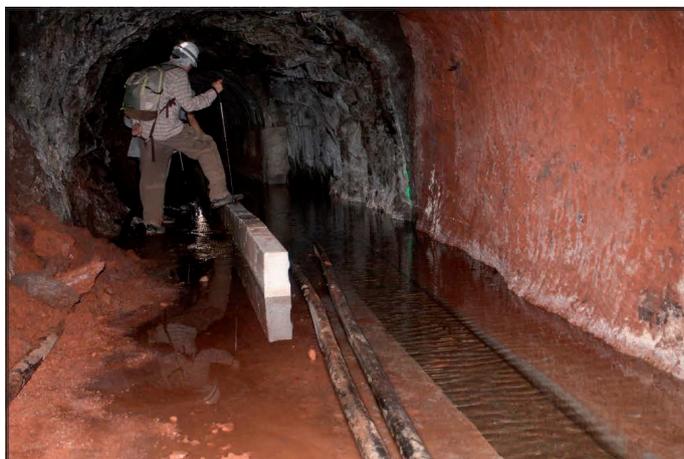


Figura 5; Sección de una galería convencional, en zona saturada

Las longitudes que se alcanzan oscilan desde los 1,5 km hasta los 7 km, el coste por metro lineal supera los 2.000 euros por metro perforado (Santamarta, 2009). La producción de las galerías oscila entre unos pocos litros por segundo y los dos centenares. Por ejemplo el pozo galería de Los Padrones en la isla de El Hierro obtiene un caudal de aproximadamente 80 L/s en su primer año de funcionamiento, con lo que, prácticamente podría satisfacer la mayor parte de las demandas hídricas de la

isla (Soler, 2004). Las galerías pueden tener varios ramales y diferentes sondeos horizontales o verticales para aprovechar mayor cantidad de agua.

Las galerías forman auténticos laboratorios de exploración de la hidrogeología insular y forman parte del patrimonio geológico y minero, del archipiélago. Con más de 3.000 km de galerías construidos, proporcionalmente, se ha perforado más que en toda la zona de la minería del carbón de Asturias y León.

La primera galería o mina de agua conocida en Canarias data del año 1897 (Brito, 1995) fue la conocida como Roque Negro y Los Catalanes en el macizo de Anaga, en el Norte de Tenerife. En otras partes del mundo las galerías de agua reciben otros nombres como por ejemplo *dike tunnel* (Hawái, EE.UU.) o *“collection tunnel”* en (isla de Jeju, Corea del Sur).



Figura 6; Sección de una galería perforada por la Administración en la isla de La Gomera con mayores dimensiones que las de la iniciativa privada.

También hay que hacer mención de la mina de Tejeda en la isla de Gran Canaria, construida en 1526 es un túnel para trasvasar las aguas

de un importante manantial desde la Caldera de Tejeda a la vertiente oriental de la isla.

Prácticamente, la mayoría de las galerías que hay en Canarias, son de titularidad privada, esto, unido a unos antecedentes históricos singulares en la propiedad del recurso hídrico, ha condicionado la organización del mercado del agua en las islas. Actualmente la Administración Pública, desde hace unos años, ha emprendido la ejecución de galerías y minas de titularidad pública con éxito desigual (cabe mencionar el éxito del citado pozo Los Padrones, en El Hierro). Las últimas galerías perforadas, como por ejemplo la de Ipalán en la Gomera, la sección transversal tiene forma de medio punto con una anchura útil de 3 a 4 m, paramentos rectos de 1,80 a 2,50 metros de altura, cerrada en su parte superior mediante una bóveda de unos de 2 metros de radio.

La explicación simplificada del porqué de esta singularidad de la privacidad de estos alumbramientos parte de la época de la conquista de las Islas durante el siglo XV. Donde hubo un repartimiento por parte de los conquistadores españoles de tierras y de aguas, las cuales estaban vinculadas. Esos derechos sobre la tierra y los recursos hídricos se iban heredando de padres a hijos, lo que dio pie al desarrollo de los Heredamientos, donde se repartía el agua en base a unos derechos adquiridos. Estos heredamientos dieron lugar a iniciativas privadas por la venta de estos derechos entre particulares. Las leyes avalaron en su día este derecho especial canario sobre el agua. La ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas de Canarias otorgó una concesión del aprovechamiento del agua privado hasta el año 2040. Lo que pasará a partir de ese año, a día de hoy es una incógnita. Aunque parece difícil que el número tan elevado de infraestructuras hidráulicas indicado en esta investigación, sumado a miles de kilómetros de conducciones de titularidad privada

que discurren por las islas puedan ser asumidos por la Administración Pública. Lo que posiblemente ocurrirá será la concesión de un periodo transitorio que mantenga las condiciones actuales por un periodo de tiempo determinado.

Durante el siglo XX, fueron los propios agricultores que se agrupaban para perforar las galerías con el fin de alumbrar agua, porque estaban totalmente abandonados por el gobierno central. Muchas familias arriesgaron todo por perforaciones que finalmente no alumbraron recurso alguno. Las galerías de la iniciativa privada son de dimensiones notablemente inferiores y angostas. Se siguen reperfando con estas medidas debido principalmente al control de costes, ya que no hay relación entre una mayor productividad y una mayor sección. A mediados de los años 60, ya se habían perforado el 90% de las galerías que actualmente existen por lo que la ejecución de nuevas explotaciones prácticamente es nula y se limita a reperfaciones de las actuales para el mantenimiento de caudales.



Figura 7; Frente de galería con agua.

En este tipo de galerías se ha confirmado una progresiva pérdida de calidad en las aguas de las explotaciones, lo que se denomina una minería del agua fósil, recursos que han estado mucho tiempo, en algunos casos miles de años, con la formación geológica que le albergaba. Es palpable la disminución de los caudales de las galerías y el retraimiento del nivel del acuífero no afectan por igual a las diferentes zonas, aunque tiende a generalizarse.

La extracción a gran profundidad, en zonas volcánicas activas, trae consigo un importante incremento en sales disueltas incluyendo también valores elevados de flúor. En algunas explotaciones han llegado a alcanzar los 10 mg/L, siendo el máximo de consumo, en aguas de abasto, permitido por ley 1,5 mg/L al día por habitante.

3.3.2 Galerías de nacientes

Las galerías de nacientes fueron las primeras en construirse. Su necesidad vino impuesta por una agricultura que cada vez necesitaba mayores recursos hídricos que las aguas superficiales no podían suplir. En el caso de las islas Canarias, existía un desconocimiento del funcionamiento del acuífero insular, simplemente por observación, se notaba que existían unos nacientes en las vertientes, procedentes de acuíferos colgados, por donde brotaba el agua, con unos caudales que para aquella época eran insuficientes. La iniciativa privada emprendió la tarea de excavar esos manantiales, con la esperanza de alcanzar caudales mayores lo que dio lugar a otra modalidad de galería, aquella que aprovecha antiguos nacientes en la ladera, vinculados a acuíferos colgados. Por este motivo, tienen poca longitud, de 10 a 100 metros, en comparación con las otras galerías convencionales anteriormente descritas.

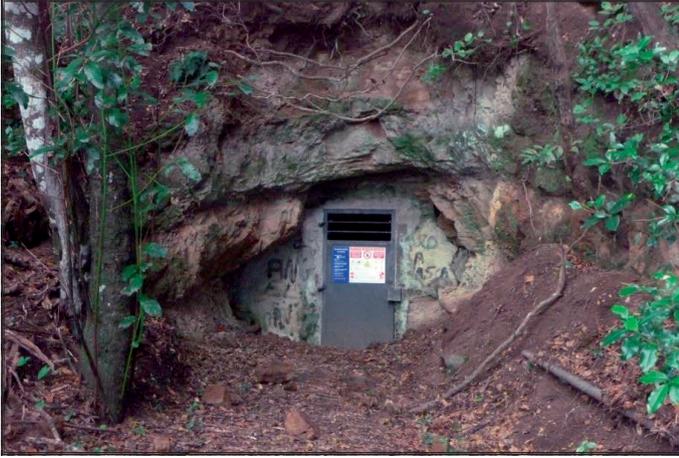


Figura 8; Galería de naciente en el monte de Las Mercedes en San Cristóbal de La Laguna (Tenerife).

La idea principal era aumentar los caudales de los nacientes. Muchas de estas minas de nacientes, han acabado siendo minas o galerías de agua, en algunos casos con más de 6 kilómetros de longitud. Ejemplos de las minas de nacientes se pueden encontrar en el monte de Las Mercedes en Tenerife; con muchas de estas minas se abastece, en parte, a la ciudad de San Cristóbal de La Laguna de 150.000 habitantes.

3.3.3 Galerías en trancada o "inclined shaft"

Otro tipo son las galerías, son las denominadas "en trancada", denominadas *inclined shaft* en Hawái (EE.UU.). Se trata de una galería que parte de la costa, con una inclinación hasta que alcanza el nivel freático, es decir el agua dulce. Una vez allí, se ejecutan varios ramales para aprovechar la mayor cantidad de agua procedente de la descarga del acuífero.

La isla con más galerías "en trancada" es la de El Hierro. Como ejemplos: la galería del Mar de las Calmas, Los Jables, Parador, Tacorón con más de 2.000 m de longitud perforada, aunque la que más caudal tiene

es la de Ícota, con 70.000 m³ de agua al año, esta última capta a una cota de 7,6 m sobre el nivel del mar. Abastece de agua para el consumo a las localidades de La Restinga, Taibique, Las Casas, Isora y San Andrés. La galería del Parador, surte de agua al Parador de Turismo y la galería de Tacorón se utiliza para regadío.



Figura 9; Galería "en trancada" en la isla de El Hierro donde se puede observar la inclinación de la traza.

3.3.4 Pozo-galería

El pozo-galería, como indica su denominación, es un pozo, generalmente en la zona de costa y una galería que parte del fondo de la captación vertical, generalmente cuando esta llega al nivel freático. En ocasiones, en estas captaciones, en lugar de galerías en el fondo, se perforan sondeos o catas, con el fin de ahorrar costes y por la rapidez de ejecución. Es posible, también, que en vez de una sola galería se construyan varias con el fin de aumentar las posibilidades de drenaje. El pozo-galería más singular de las Islas Canarias es el de Los Padrones en la isla de El Hierro, se da la circunstancia que es un pozo artesiano (no

es necesario bombear el agua). También dispone de cierres hidráulicos, utilizando los diques a modo de presas subterráneas que le permiten cierta regulación de los caudales alumbrados.



Figura 10; Pozo-Galería Los Padrones en la isla de El Hierro, al fondo se observa el pozo y de ahí nace la galería horizontal.

3.3.5 Minas de agua

En la isla de Gran Canaria también existen las galerías de aguas, pero en este caso existe también una tipología, denominada mina de agua asociada a barranco. Esta tipología de captación se compone de un túnel drenante transversal al barranco que aprovecha el flujo subálveo del agua, consta de estructuras verticales denominadas campanas con la funcionalidad de acceder al túnel y ventilación. Según el investigador y Cronista Oficial de La Aldea Francisco Suárez (2015), este sistema se generalizó, a partir de principios del siglo XVI y sobre todo después del siglo XVIII. El sistema consiste en la búsqueda de las aguas subálveas de los barrancos, a través de unas zanjas que seccionaban los cauces de los barrancos, lo que pudiera tener relación con las eres de los aboríge-

nes y que recibió la denominación de minas. También se han construido en Tenerife, por ejemplo, en el Barranco de Santos.

3.4 Descripción y construcción de una galería-mina de explotación de aguas subterráneas

Aunque en los terrenos continentales, actualmente, se dispone de maquinarias avanzadas de excavación y sistemas del control del terreno que permite enfrentarse a todo tipo de material y roca (Cebrián, 2005), en el caso de los terrenos volcánicos la evolución tecnológica no ha sido tan desarrollada. Esto es debido a que los terrenos volcánicos, presentan un terreno muy heterogéneo, anisótropo y difícil de parametrizar (Hernández y Santamarta, 2015).

El terreno que conforman las Islas Canarias es bastante variado en cuanto a su composición, lo que provoca numerosos problemas a la hora de ejecutar una perforación. Esta variedad, en cuanto a su dureza, hace muy difícil la utilización de medios mecánicos como microtuneladoras, siendo las perforaciones ejecutadas con medios más tradicionales utilizados en la minería convencional. Además, hay que destacar que las minas de agua dulce en Canarias no tienen boca de salida por lo que si se utilizase esta tipología de maquinaria debería desmontarse y salir por la bocamina de nuevo (Soler, 2004).

Inicialmente, las galerías o minas eran construidas por medios manuales y con animales, como los burros, para el transporte de herramientas y utensilios; en zonas con presencia de material masivo volcánico, como el basalto era necesario el uso de explosivos muy rudimentarios, incluso a veces, fabricados por los propios operarios. Los rendimientos en estos casos dependían de la destreza del cabuquero, que era el encargado de los explosivos. Los avances analizados eran del orden de 1 a 3 metros de

avance al día. Los escombros resultantes eran cargados en vagonetas y éstos eran llevados a la superficie mediante fuerza animal o, empujados por los operarios (con pendiente de la traza de la galería a favor).



Figura 11; Maquinaria para perforación de galerías.

Tanto la explotación, como la dirección de obra y los planes de voladuras, deben ser ejecutados y realizados por un técnico competente, en este caso particular, los Ingenieros de Minas o Ingenieros Técnicos de Minas, ya que este tipo de instalaciones se rigen por la Ley de Minas. Evidentemente en los estudios hidrogeológicos y de demandas, caben otras cualificaciones y equipos multidisciplinarios.

Siguiendo con las técnicas de perforación y avance, complementariamente a los explosivos, se utilizan también en la perforación los martillos neumáticos y, en muy contadas ocasiones, mini-excavadoras. En particular en las galerías que, por sus dimensiones, permiten la entrada de este tipo de maquinaria y su maniobrabilidad. El uso de esta maquinaria tiene evidentes ventajas en cuanto a productividad y confort en el

trabajo, sobre todo en la zona saturada de la perforación, con presencia de agua. Sin embargo, presentan el inconveniente de la producción de gases de escape (monóxido de carbono, CO), que no es posible evacuar, a menos que la galería cuente con un sistema de ventilación forzada, hecho que no siempre ocurre. Por ello, habitualmente la única máquina con motor de explosión que entra en la galería es la locomotora, siendo las minipalpas de carga accionadas mediante un sistema neumático.

La mina se suele construir con una alineación recta, aunque en determinadas ocasiones y debido a los materiales o estructuras geológicas que van apareciendo y su orientación (almagres, buzamiento de las coladas, piroclastos...), puede haber cambios de rumbo. Incluso se pueden construir ramales en determinados momentos de la excavación por operatividad u otros motivos técnicos. Algunos ramales, en explotaciones más modernas, se utilizan para la circulación de la maquinaria. Estos cambios de orientación también pueden ser debidos también a los resultados de exploración hidrogeológica o por afección entre galerías cercanas.



Figura 12; Dique en la traza de una galería.

Se perfora un sondeo horizontal en el frente de la mina que informa de los materiales que se van a ir encontrando en secciones posteriores, también puede facilitar información muy valiosa relacionada con el agua que nos podemos encontrar por delante del frente de galería, mediante la medición de la presión hidrostática. También la distribución de los diques, suministran una información muy interesante, juntamente con las humedades y surgencias de agua que vayan apareciendo en el trazado de la galería. Influye notablemente la experiencia de la dirección de obra en la búsqueda del recurso, sobre todo si es apoyada con un buen geólogo y el correspondiente estudio hidrogeológico previo a la construcción de la mina.

Al inicio de la perforación, los primeros metros perforados del orden de 200 hasta los 1.500 suelen discurrir en seco, es decir, en zona no saturada (ZNS). El ambiente de trabajo es pulverulento. En seco, salvo que haya materiales muy duros tipo basalto los rendimientos son elevados. Se podría usar maquinaria de gomas, pero, es conveniente, ir instalando desde el principio railes, ya que, cuando se alcance la zona saturada, la maquinaria de gomas resbalaría y haría más dificultosa la ejecución de los trabajos, retrasando los mismos (Santamarta y Suárez, 2015).

Al cabo de unos cientos de metros, la traza de la mina penetra en el acuífero insular. Se denomina denominada zona saturada (ZS). Este cambio no es inmediato, sino gradual, comenzando por la aparición de unas humedades en la base de la traza de la mina. Posteriormente, el agua, asciende por los laterales, la denominada *agua de repisa*, en el argot minero insular, hasta finalizar por los hastiales.

El agua puede aparecer de golpe, tras la ruptura de un dique de cierta magnitud (1-5 m), por lo que es necesario, siempre, proceder a la perforación con extrema cautela al llegar a un dique. Normalmente el

agua alumbrada en los frentes de galería, suele hacerlo a través de los barrenos perforados para llevar a cabo la voladura; una vez alumbrada el agua, se puede tener una idea de la magnitud de la columna de agua mediante la instalación de un manómetro.



Figura 13; Agua en la base de la traza de la galería.

Las fuentes de agua pueden aparecer en diversas partes de la sección, por fisuras o grietas, cuando existe cierta presión. Incluso puede llegar a caer agua en forma de lluvia de infiltración en todo el tramo de la sección, por lo que las condiciones de trabajo pueden empeorar considerablemente (humedad y temperatura). Este recurso hídrico, que suele ser de reserva (agua más cargada de sales), puede remitir en cantidad, ya que se está drenando la zona del acuífero más antigua, hasta llegar a los caudales estabilizados que se denominarían caudales de recarga, por lo tanto renovables y los más interesantes desde el punto de vista de la explotación sostenible de la galería. Es necesario tener cuidado con estas vías preferenciales de agua, ya que pueden provocar corrimientos

y movimientos del material y caídas de prismas basálticos, generando problemas de estabilidad de la sección de la mina o incluso, en la seguridad de los trabajadores.



Figura 14; Zona saturada de agua en la traza de la galería.

La mina o galería de agua, debe llevar una pendiente descendiente del 1.5 al 2% en toda su longitud, esto va a favorecer el aprovechamiento del agua, que fluye por gravedad. En la infraestructura de tipo pozo-galería, hay dos opciones, la primera es: que no haga falta bombear el agua, porque se trate de un pozo artesiano, ya que tenemos una diferencia de cota importante con respecto al recurso que drenamos, esta diferencia de cota puede ser gracias a los diques, o bien, que sea necesario incluir en la instalación un sistema de bombeo, con costes energéticos, que incrementarían el precio total del agua. Los operarios, para gestionar la pendiente de la galería utilizan tornillos en el arco de la sección con hilos, método rudimentario pero eficaz.

Cuando se alcanza la zona saturada, o bien, cuando se comienza a

atravesar diques, es posible que en la explotación se deba comenzar a trabajar con cantidades importantes de agua. Este líquido puede alcanzar temperaturas de unos 15-20 °C, llegando en algunos casos a superar los 35 °C, esto provoca un ambiente de trabajo pésimo para los operarios, por lo que, se debe evacuar rápidamente. La evacuación se realiza mediante bombeo o bien por el canal que se ha ido realizando en la zapatera derecha en el frente de la galería. Este recurso no es posible utilizarlo para abastecimiento, debido a que tiene restos de explosivos y materiales sueltos, en algunos casos de granulometría muy fina cuya decantación no es posible a corto plazo. Su posible uso en agricultura llevaría un estudio previo ambiental y de calidad, por si hubiera presencia de contaminantes perjudiciales. La solución menos eficiente con respecto estas aguas iniciales es verterlas a un barranco próximo, para lo cual también sería necesario disponer del permiso correspondiente.

Las altas temperaturas también son un problema para los operarios, en algunas zonas son muy elevadas; se han dado casos de trabajar con agua a temperaturas cercanas a 50 °C en el frente de la galería, como en el caso de la galería de Lomo Colorado en la isla de Tenerife, de ahí que, algunas veces, se pueda hablar de minería de aguas termales. Otro ejemplo es la galería de La Fuente Santa en la isla de La Palma cuyas aguas están oficialmente declaradas como termales y minero-medicinales, la obra, de compleja ejecución y elevado coste, se encuentra actualmente en proceso administrativo para su explotación como balneario.

3.5 Innovaciones constructivas: regulación de caudales mediante la reconstrucción de diques geológicos

El mayor problema que presentan las galerías de agua es la poca ca-

pacidad de regulación que tienen. Una vez alcanzada por la perforación, la zona productiva o saturada, el caudal sale sin control o regulación alguna. La galería ha atravesado una serie de diques, en mayor número, conforme se avanza hacia las dorsales. Estos caudales, inicialmente son muy elevados, aunque se van estabilizando con el tiempo (Santamarta, Hernández-Gutiérrez & Rodríguez-Losada, 2010).

Con el paso de los años y el descenso del nivel del acuífero alumbrado tras un dique, se suele seguir reperfando la galería en lugar de perforar sondeos verticales ya que, en la inmensa mayoría de los casos, la ubicación (algunas en Parques Nacionales) y longitud de las galerías hace imposible y antieconómica su electrificación. En muy contadas ocasiones se encuentran sondeos verticales en el interior de las galerías de agua, en cualquier caso, la perforación de sondeos verticales en el interior de una galería sin que esta haya llegado a ser productiva en su frente podría considerarse como no deseable (Santamarta, 2017).



Figura 15; Cierre hidráulico construido en el túnel del trasvase (cara este) en la isla de La Palma.

En las islas, por la temporada de lluvias, hay épocas del año que no es necesario tanta extracción de agua, por lo que se desequilibra la oferta con la demanda. La demanda es mayor en verano cuando no hay tanta disponibilidad de precipitaciones. Por este motivo, se comenzó con la ingeniería de diques mediante la ejecución de cierres de hormigón armado en las propias minas, utilizando para ello los diques geológicos con unas ciertas características de impermeabilidad y geométricas. Lo que se busca con esta técnica, es almacenar el agua en el propio macizo y regular el aprovechamiento mediante el uso de conducciones y válvulas.

El primer ingeniero que tuvo la idea de realizar estos cierres en España fue el Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puertos, Clemente Sáenz García, Catedrático de Geología de la Universidad Politécnica de Madrid de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos, aplicándolos en un acuífero en Soria, en la conexión de dos formaciones diferentes. Era básicamente un contacto hidroestratigráfico de distinta permeabilidad entre margas y calizas.

El Doctor Ingeniero Sainz de Oiza (responsable técnico del SPA15), también los nombró para el caso canario. Telesforo Bravo, valoró esta opción en las galerías de la Caldera de Taburiente en la isla de La Palma, donde actualmente, este sistema constructivo es efectivo en una galería de aquella isla. Este sistema ha sido profusamente utilizado en otras zonas del mundo como, por ejemplo: Perú, utilizando una falla como dique, en islas de Japón, Hawái, incluso, en islas más cercanas, como Sicilia. En Canarias este método, se ha aplicado con éxito en el Pozo de Los Padrones en la isla de El Hierro (Tenerife) (Soler, 2004), reconstruyendo tres diques volcánicos usándolos posteriormente como pequeños embalses subterráneos y regulando la explotación a demanda.

En resumen, esta innovación constructiva es muy interesante y ha sido un gran avance para la gestión y regulación de las galerías de agua, ya que, permite compartimentar el acuífero e ir drenando aguas de recarga a demanda, contribuyendo a la sostenibilidad de la explotación además como otra ventaja, se tiene que el agua está almacenada dentro del macizo, por lo que se evitan problemas sanitarios.

3.6 Huella de carbono de las minas de agua

3.6.1 Introducción

España, su conjunto está muy alejada de cumplir los compromisos adquiridos por el Protocolo de Kioto en cuanto a emisiones de CO_2 . El progresivo aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero es importante en el sector del agua, debido al significativo impacto que el cambio climático tendrá sobre la disponibilidad de recursos hídricos en algunas regiones.

La huella de carbono es un indicador que a través de un inventario mide la producción de gases efecto invernadero (GEI) generado por diferentes actividades, que se derivan de la producción de energía, quema de combustibles fósiles, generación de metano por los residuos generados y otras actividades productoras de GEI. El resultado del impacto de las explotaciones de captación de aguas subterráneas está medido en toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e).

La actividad de captación de aguas mediante la minería del agua no es ajena a estas emisiones, si bien en menor medida que otras industrias productoras de agua, como las plantas desalinizadoras de mar. A continuación, se expone un estudio sobre la huella de carbono de una captación tipo en terreno volcánico.

3.6.2 Metodología de cálculo de la huella de carbono de las explotaciones mineras del agua

Para el cálculo de la huella de carbono emitida por las explotaciones mineras del agua se ha hecho uso de la metodología propuesta por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España. Esta metodología contempla 3 alcances (Mapama.gob.es, 2017).

- Emisiones directas y difusas controladas por la explotación, es decir, emisiones de sus vehículos, equipos de ventilación de la galería, aire comprimido o bombeos de agua.
- Emisiones indirectas del uso de energía: cuando se utiliza energía eléctrica en la explotación minera, esta ha sido generada en otros lugares y puede haber sido generada por diferentes sistemas, centrales térmicas, ciclo combinado o energías renovables.
- Otras emisiones indirectas: aquí es donde entran las emisiones que no son generadas directamente en la explotación, sino que tienen lugar en proveedores, adquiriendo las materias primas, etc.

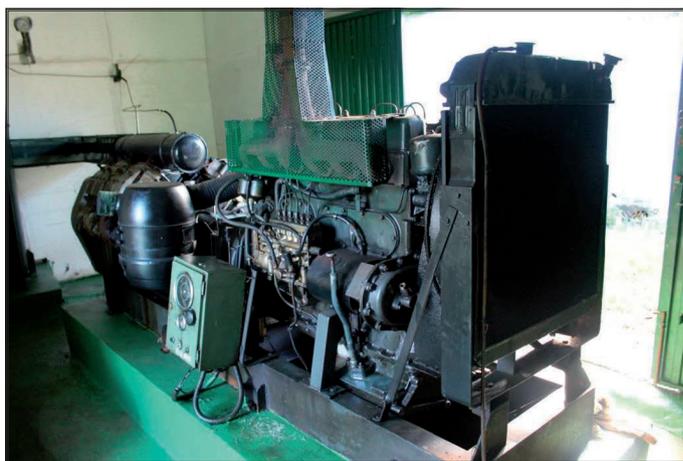


Figura 16; Motor diésel para la ventilación de una galería en la isla de Tenerife.

Una vez identificados los límites organizacionales, se debe decidir qué tipo de emisiones se incluirán en el análisis de la huella de Carbono. Se diferencian 3 tipos de alcance:

- Alcance I: emisiones directas que resultan de las actividades de control propias de la empresa.
- Alcance II: emisiones indirectas derivadas del uso de energía (electricidad comprada, vapor o calor importado).
- Alcance III: otras emisiones indirectas no controladas por la organización (extracción y transporte de materia prima, uso de productos...). Este alcance opcional.

El cálculo de la Huella de Carbono se realiza mediante los datos obtenidos de las fuentes de emisión de GEI existentes. Los métodos de cuantificación pueden estar basados en cálculos, mediciones o en una combinación de ambos.

La herramienta facilitada por el Ministerio, permite estimar de manera sencilla las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las actividades de una organización, contemplando tanto las emisiones directas, como las indirectas procedentes del consumo de electricidad. No incluye el cálculo de las emisiones de alcance 3.

El objetivo es el cálculo de la contribución de una organización, producto o servicio al calentamiento global expresado en CO₂ equivalente.

Por tanto, el alcance debe ser consistente con el objetivo y se deben definir los límites del sistema y el límite temporal de los datos (definición de año base). También será de capital importancia, la elección de los factores de emisión o bases de datos y las asunciones y limitaciones del estudio.

Para realizar el cálculo de la huella de carbono hemos tomado una galería "tipo" de 3.500 metros de profundidad, con ventilación forzada

(hay galerías que no necesitan ventilación), con compresor y motor de ventilación de potencia media 123 CV.

El caudal de ventilación dependerá de la cantidad de gases mefíticos, las pérdidas de carga por cambios en la orientación de la traza, etc. Para nuestra mina modelo, el caudal es del orden de 150 m³ por hora.

La composición típica del transporte dentro de la galería la componen cinco vagonetas y una máquina tractora.

Tabla 2; Consumos de combustibles fósiles de los equipos en la perforación.

Máquina	Horas trabajo por jornada	Consumo de gasóleo por jornada de trabajo
Compresor	6 horas	120 L
Motor para ventilación	8 horas	150 L
Transporte dentro de la mina, máquina tractora y 5 vagonetas	8 horas	15 L
Vehículos de apoyo	Jornada	60 L

La mina tipo (3.500 m), en condiciones normales tiene un rendimiento de perforación de 3 metros al día, por lo que se necesitarán aproximadamente 3 años para su ejecución. Cada día de ejecución se consumen 345 L (litros) de combustible fósil. El cómputo total de combustible fósil utilizado durante toda la perforación es 377.775 L. A esto, hay que sumar los consumos de gases fluorados que consume el compresor, 31 kg al año, incluyendo parte proporcional de la recarga del equipo. Se considera un consumo eléctrico indirecto de la empresa que se dedica a la perforación de la mina, entendido según la metodología de cálculo como alcance 2.

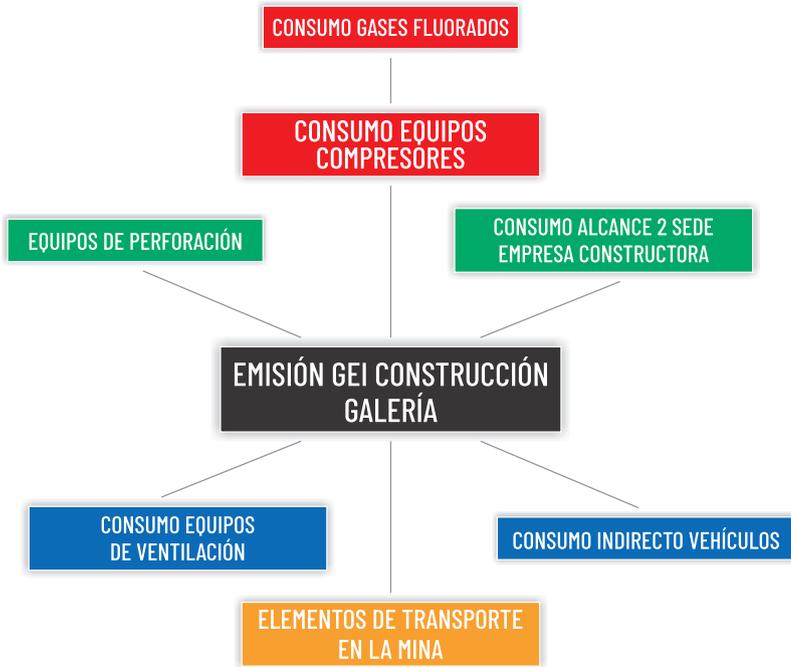


Figura17; Metodología de cálculo de la huella de carbono en la construcción de una galería de agua tipo (3.500 m).

Durante la operación de la mina, obviamente las emisiones de GEI se reducen drásticamente. Los consumos se limitan a las visitas de mantenimiento y de inspección, así como a una parte de consumo eléctrico por la empresa o entidad gestora de la explotación.

Suponiendo tres visitas de mantenimiento e inspección de la mina, los consumos que se consideran son los siguientes. Hay que tener en cuenta que la tipología de la galería tipo, no tiene consumos energéticos por bombeo de aguas, dado que esta fluye por gravedad, salvo que sea un pozo-galería o bien que haya sondeos verticales a lo largo de la traza. Las emisiones cambian en el caso de explotaciones verticales como

pozos o sondeos, donde es necesario bombear agua a alturas elevadas desde 100 a 600 metros, lo que hará que la huella de carbono aumente considerablemente.

Suponiendo 3 visitas al año, el consumo de combustible fósil (diésel) se puede considerar del orden de 335 L, (se consideran también los desplazamientos del "canalero" para la gestión de los caudales alumbrados). Se integran en el cálculo el consumo de gases fluorados y el consumo energético indirecto (alcance 2) de la empresa gestora de la explotación.



Figura 18; Sistema de ventilación e instalaciones en una galería.

3.6.3 Resultados

Según la metodología de cálculo propuesta por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (Mapama.gob.es, 2017), durante la construcción de la mina de agua la emisión de GEI es la siguiente:

Tabla 3; Resultado de las emisiones durante la perforación de la mina de agua.

Año de cálculo 2016			
ALCANCE 1	Instalaciones fijas	895.031,1	t CO ₂
	Desplazamientos en vehículos	166.812,3	t CO ₂
	Refrigeración/climatización	11.955,0	t CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 1		1.073.798,4	t CO ₂ eq
ALCANCE 2	Electricidad	1.300,0	t CO ₂
ALCANCE 1+2		1.089.098,4	t CO ₂ eq

En la fase de construcción y perforación: el total de emisiones es 1.089.098,4 t CO₂eq, cada año se emiten aproximadamente 363.032,8 t CO₂eq.

En la fase de explotación: el total de emisiones es 2.641 t CO₂eq.

Tabla 4; Resultado de las emisiones durante la explotación de la galería de agua.

ALCANCE 1	Instalaciones fijas	0,7887	t CO ₂
	Desplazamientos en vehículos	0,1523	t CO ₂
	Refrigeración/climatización	0,0000	t CO ₂ eq
TOTAL ALCANCE 1		0,9410	t CO ₂ eq
ALCANCE 2	Electricidad	1.700,0	t CO ₂
ALCANCE 1+2		2.641,0	t CO ₂ eq

3.7 Inversiones necesarias para la construcción de una mina/galería de agua. Estudio del caso en las Islas Canarias

Tomando como referencia la metodología planteada por Marcelino Castro (2015), en su estudio económico de las galerías del Sur de Tenerife, podemos tomar como inversión necesaria para realizar una mina de agua las siguientes unidades indicadas en la tabla 5.

Tabla 5; Inversión en construcción de una mina de agua siguiendo metodología de Marcelino Castro (2015), modificada por el autor

Inversión de instalación y equipos	Coste medio en €
Obra civil de construcción de caseta de bocamina (25 m ²)	30.000
Equipamiento de la caseta, instalaciones para los trabajadores, seguridad, polvorines	3000
Motocompresor	2200
Equipo de ventilación	6000
Vagonetas (5 unidades)	5x(2500)=12.500
Máquina tractora	5500
Total	109.200 €
Inversión en perforación	Coste medio en €/m
Trabajos de perforación sección 2m x 2m	2200
Entibación 15% de la traza	230
Tuberías de ventilación, aire comprimido y accesorios complementarios, tales como vías, conducciones y canales.	160
Total	2590 €

En la siguiente tabla se incluyen los costes relativos al mantenimiento de la explotación:

Tabla 6; Costes medios anuales de mantenimiento de la explotación.

Concepto	Coste medio anual en €
Dirección facultativa de la explotación	2400
Coste visitas de mantenimiento (2 por año)	400
Coste personal de mantenimiento ("Canalero")	3000
Visita inspección de la autoridad minera competente	500
Total	6300 €

3.8 El mercado de las aguas subterráneas en Canarias

El presente estudio, sobre la minería del agua, toma como ejemplo la gestión y mercado de las aguas subterráneas de Canarias. Sin querer indicar que este sea el mejor sistema para la gestión del agua, sí que hay que reconocer que en el caso canario funciona de una manera aceptable.

El origen de este sistema de propiedad lo tenemos en los Reyes Católicos en 1480 donde se comienzan a realizar el reparto de la tierra y del agua entre los nobles. Se crean las heredades, como entidades dueñas de las aguas superficiales y gestoras del reparto del agua entre los herederos. Durante casi tres siglos (1529-1823) las heredades estuvieron regidas por los llamados alcaldes de aguas, y en una época (1823-1866) fueron los alcaldes constitucionales los que presidieron la heredad.

En Ley de Aguas de 1924 se certificó la titularidad pública de las aguas superficiales pero no el de las aguas subterráneas. A partir de esa época, las pocas aguas superficiales no daban abasto con una demanda cada vez mayor de recursos por el aumento de la superficie dedicada a los cultivos. Por ello se desarrolló una cultura minera del agua que buscaba y extraía aguas subterráneas, como ya se ha comentado.

A partir de este sistema tradicional, y hasta la entrada en vigor de la Ley 12/1990, de Aguas, el agua era propiedad de aquel que la extraía, pudiendo utilizarla para sus propios usos, o bien, ofertarla a potenciales usuarios de la misma en función de sus necesidades. En esta ley también se recoge el carácter público de las aguas subterráneas, pero con un régimen transitorio de cincuenta años para los titulares de aprovechamientos privados.

El sistema de economía de mercado, descansa en el libre juego de la oferta y la demanda. Un mercado es una institución social en la que los

bienes y servicios, así como los factores productivos, se intercambian libremente. Debemos tener en cuenta, tal y como menciona Aguilera (2002) que “el carácter indispensable y escaso del agua la convierte en un importante activo financiero”.

En Canarias existe un mercado del agua, es decir, la propiedad del agua se distribuye mediante acciones y participaciones, principalmente en las islas capitalinas (Tenerife y Gran Canaria) aunque también es sensible en La Palma o El Hierro. Sólo en Tenerife, existen aproximadamente 30.000 accionistas con acciones vinculadas al agua. Los canales son gestionados mediante acciones a las que les corresponde el derecho de trasportar un volumen determinado de agua, la red, sólo en la isla de Tenerife supera ampliamente los 5.000 Kilómetros. Aunque en general el mercado del agua es privado, la Administración Pública poco a poco va integrándose en la propiedad del agua adquiriendo algunas infraestructuras y construyendo plantas desalinizadoras de agua del mar con lo que puede controlar en cierta manera algunas partes del mercado del agua. También es el mediador en los conflictos entre particulares y vela por el cumplimiento de la legalidad vigente.

Existen dos tipos de mercados del agua:

- De acciones o participaciones de agua, donde se negocia la propiedad de los títulos de las comunidades.
- De arrendamiento de agua, que a su vez puede ser de dos tipos:
 - Contrato anual.
 - Contrato ocasional o de temporada.

Los mercados del agua en Canarias han sido objeto de diversas consideraciones (Guerra, 1999; Jiménez Suárez, 1997; Aguarda et al., 1997; Nuez y Carnero, 2003), y en el caso de Gran Canaria han sido detallados por Angollotti (1974).

3.9 Estudio de la percepción social de los recursos hídricos en las Islas Canarias

La presente parte del estudio analiza, la percepción que tiene la sociedad canaria sobre los recursos hídricos en Canarias y de los métodos para su captación y gestión. Con ello se pretendía conocer de primera mano la realidad social y conocimiento que tiene la población sobre los recursos hídricos, principalmente los subterráneos en las Islas Canarias. Los resultados aquí expuestos es un resumen del estudio completo de Santamarta realizado en 2017.

Obviamente para obtener datos más concluyentes sería necesario llevar a cabo un estudio más profundo y con más participantes, pero se escapa a los límites buscados por el presente estudio cuyo objetivo es menos ambicioso, pero cuyos resultados son interesantes integrar en el presente documento.

El método de investigación seleccionado ha sido la encuesta. La encuesta es uno de los métodos más utilizados en la investigación respecto a temas sociales, porque permite obtener amplia información de fuentes primarias. Es una técnica de investigación que consiste en una interrogación verbal o escrita que se les realiza a las personas con el fin de obtener determinada información necesaria para una investigación. Se seleccionó este método por que las técnicas de encuesta se adaptan a todo tipo de información y a cualquier población. Por último, las encuestas permiten estandarizar los datos para un análisis posterior, obteniendo gran cantidad de datos y en un periodo de tiempo corto.

En el caso actual, se realizaron encuestas escritas, cuyo instrumento fue el cuestionario. La encuesta que se llevó a cabo fue estructurada, es decir se hicieron todas las preguntas a todos por igual. El ámbito de la encuesta fue en las Islas Canarias.

La tipología de preguntas fue:

- Selección múltiple.
- Escala lineal.
- Pregunta con respuesta abierta.

En las preguntas de selección múltiple se daban varias opciones, normalmente 4 y, en algunas preguntas, una de ellas era no sabe/no contesta. En las preguntas de escala lineal, se permitía un número como respuesta, de 1 a 5. Finalmente la pregunta con respuesta abierta, se permitía expresar una opinión a la persona que cumplimentaba el cuestionario.

El público objetivo eran ciudadanos con un cierto nivel de estudios, preferiblemente universitarios. No se realizaron técnicas de muestreo ni se determinó un número mínimo de personas a encuestar. El objetivo principal era tener una primera aproximación al conocimiento de la realidad hidráulica de las islas, por la ciudadanía local de las Islas.

La encuesta se realizó mediante un cuestionario alojado en internet, y se enviaba por correo mail a personas seleccionadas y al público en general por diferentes medios. La duración del proceso de encuesta fue un mes.

Para discernir los diferentes grupos de respuesta las primeras cuestiones eran de tipo general, tales como lugar de residencia, rango de edad y nivel de estudios finalizados.

Como síntesis de los resultados de la encuesta se aportaron las siguientes respuestas. En el caso de los residentes de las Islas Canarias la mayoría de los encuestados tenían presente que la mayoría de los recursos hídricos provienen del agua subterránea, con un 74,6%. Un 80% de los encuestados manifestaba que bebía agua embotellada. Con respecto a quién era el máximo consumidor de los recursos hídricos en Canarias,

un 44,8% manifestó que era el sector primario, que es quién realmente consume mayor cantidad de recursos. Llama la atención que un 34,3% manifiesta que es el turismo, cuando este representa el menor consumo en las islas, salvo en la isla de Lanzarote. La mayoría aprueba la gestión de los servicios de abastecimiento, con un 76,2%, pero resulta curioso que ningún encuestado otorga la máxima calificación a los servicios de abastecimiento. Un 6% manifiesta que son muy deficientes.

A la pregunta sobre la titularidad de las explotaciones de recursos hídricos la mayoría (un 86,6%) conocía que la mayoría está en manos privadas, un 9% no conoce de quién es la gestión de esos aprovechamientos. A la cuestión de cuál era la mayor amenaza para los acuíferos de Canarias, la mayoría manifestó que era la sobreexplotación del acuífero. El segundo porcentaje, un 6%, opinó que el mayor problema era que estuvieran en manos privadas.

Sobre el coste del agua de abastecimiento urbano, un 35,8% manifiesta que es cara o muy cara. Sólo un 15% manifiesta que el coste es muy barato y, finalmente, casi un 50% opina que el coste es normal.

Sobre la cantidad de recursos consumidos por habitantes, la percepción es que se consume mucho recurso hídrico por habitante. Canarias no es de las CC.AA. que más recursos hídricos consume por habitante. Según el INE (2016), en Canarias se consume unos 144 litros por habitante y día, en el año 2013 eran 140. No es de los mayores consumos, la Comunidad de Castilla y León llega hasta los 166 litros. Llama la atención que en las Islas Baleares el consumo sea 124 litros, con la carga turística que tienen, la diferencia fundamental es la agricultura, más intensa en Canarias.

En el caso de la percepción sobre el estado y dimensionamiento de las infraestructuras hidráulicas, los encuestados claramente indican que son muy obsoletas y deficientes, con 61,2%, un 32,8% las conside-

ran en un estado normal y finalmente, destaca que ningún encuestado ha manifestado que estén en un estado excelente (máxima puntuación).

Sobre la gestión del agua en Canarias, más de un 50% la aprueba, nuevamente en esta ocasión ningún encuestado la considera excelente y casi un 18% la considera muy deficiente.

Sobre el futuro del suministro del agua a las Islas, la mayoría opina que debería ser un modelo mixto de aguas subterráneas y desalinización de agua de mar. Un 38,8% opina que en ese mix, las subterráneas deberían tener el papel principal y un 40,3% opina que la desalinización de agua de mar debería tener el papel principal.

Casi un 77,6 % de los encuestados opinan que ahora se consumen más recursos que antes, en contra de un 10% que opina que no. Si bien ahora, hay más eficiencia en los consumos y sistemas de riego agrícolas. También existe una mayor concienciación ciudadana por ahorrar agua, la percepción es de un mayor consumo.

Más de la mitad de los encuestados manifiesta conocer el mercado del agua de Canarias. Sobre un 30% lo desconoce poco o nada.

Llama la atención que casi un 50% de los encuestados están relacionados con el mundo del agua en Canarias.

La mayoría de los encuestados entienden que hay un binomio del agua con la energía muy acusado. Cuestión que se cumple en las Islas Canarias.

Con respecto al número de explotaciones existente, la mayoría de los encuestados conocían el número de explotaciones relacionadas con la minería del agua existente en Canarias. Un 25% manifestó que no sabía el número.

Casi un 60% de los encuestados conocían que las galerías se rigen por la Ley de Minas, desconociéndolo casi un 40%.

Casi un 70% de los encuestados manifestaron que conocían los efectos del flúor en el agua de abastecimiento urbano. Preocupa que un 13% manifieste no conocer nada al respecto. Por otro lado, un 82,1% tenía un nivel alto de preocupación alto por los elevados niveles de flúor en el agua subterránea.

Sobre la percepción sobre de donde procede el agua consumida en los hogares, casi un 50% manifiesta que es subterránea. En este sentido, en Canarias, salvo en La Palma o La Gomera, o en lugares puntuales, el suministro suele ser mixto.

Sobre la cuestión de la motivación por comprar agua embotellada, la mayor motivación es el sabor. Sorprende que casi un 20% de los encuestados manifiesten que el agua del grifo no es sana, cuando esta obligatoriamente debe cumplir unos requerimientos de calidad importantes, además está más controlada que la embotellada.

Un 40,3% de los encuestados se fija en la hidroquímica del agua embotellada cuando la compra, un 21% en el origen del agua. Casi un 40% opta por la compra de tamaños grandes de botella (8 L), un 37,4 la compra con una capacidad dentro del rango de 1 a 2 litros. Sobre el origen de la captación casi un 50% manifiesta que le es indiferente, un 44,8% demanda agua de acuíferos canarios.

Sobre la gestión municipal del agua un 28,3% opina que la gestión está mejor en empresas privadas, un 44,7 opina que la gestión pública es mejor, un 26,9%, no tiene una opinión clara para decantarse por una opción u otra.

Un dato interesante es que prácticamente ya no hay cortes de suministro de agua en las casas, salvo por averías puntuales. Es decir, aquellos cortes de 2-3 días por fallos en el suministro.

Sobre la gestión del agua subterránea por parte de las comunidades

de agua existen opiniones variadas, los resultados no aclaran la percepción en ese sentido, lo cual indica una opinión neutral, aunque con un desvío hacia la parte negativa. Sobre el conocimiento del funcionamiento de las comunidades de agua, gestoras del agua subterránea en Canarias, un 68,7% las conoce y sabe en cierta manera cuáles son sus funciones. Un 31,3% las desconoce.

Sobre los costes del agua alumbrada en una galería, el 50% de los encuestados desconoce cuál es el precio medio pagado por 1 m³ en una galería de agua. Correctamente contestaron un 21% de los encuestados. El precio medio del agua comprada por las entidades de gestión del abastecimiento es de 0,61 euros por metro cúbico. Oscila entre 0,22 euros de la Palma y los 1,85 euros de Fuerteventura. En La Gomera, la situación es singular, dado que sólo hay un único proveedor privado que vende el 11,7% del agua total de la isla a 0,98 euros el metro cúbico y el principal proveedor de la isla es el Consejo Insular de Aguas, que suministra el agua a coste cero.

Sobre el precio de un metro cúbico pagado en el recibo del agua, un 37,3% de los residentes manifestaron no conocerlo, un 32,8% contestó correctamente a la pregunta ya que el agua facturada a los usuarios asciende a 1,61 euros de media, si bien puede oscilar de un ayuntamiento de la isla a otro.

Con respecto a la transferencia de conocimiento que Canarias podría liderar a otros países, hay unanimidad en que sí sería posible, con casi un 94% de respuestas positivas. Lo cual supone que el ciudadano comprende que existe un valor intangible, que es el conocimiento que se tiene del agua en las Islas Canarias, así como sus modelos de gestión.

Sobre el cambio climático, es un aspecto que preocupa a la ciudadanía. En el cuestionario se pregunta sobre la percepción sobre la pre-

precipitación, en particular si esta es ahora más numerosa o menos. Los resultados indican que la mayoría piensa que llueve menos, un 76,1%, frente a un 16,4% que piensa que la precipitación no ha variado.

En este sentido, nos tenemos que referir al trabajo de Santana (2012), un trabajo que abarca un estudio de las precipitaciones en Tenerife en el periodo comprendido entre 1920 y 2010, en el cual no se aprecia una variabilidad en la cantidad de precipitación en la isla, sino que las variaciones detectadas corresponden a "fluctuaciones climáticas", es decir, modificaciones a corto y medio plazo que provocan alteraciones espaciales y temporales en ambos sentidos, pero que mantiene al clima dentro de sus caracteres esenciales.

Sobre la cuestión si el interesado conocía a gente vinculada al mundo del agua, en particular a las galerías, un 65,7% de los encuestados conocía a trabajadores de las galerías o pozos.

Sobre el ahorro de agua en los hogares, existe una clara conciencia con el ahorro del agua, con un 94,1% de los encuestados que manifestaron hacer un uso eficiente del agua.

Finalmente, se planteó una pregunta abierta para que los encuestados plantearan cual sería el futuro de los recursos hídricos subterráneos y como se deberían gestionar. Las respuestas fueron de todo tipo, en general había una notable preocupación por la sobreexplotación de los recursos hídricos, podemos resumir las respuestas en los siguientes puntos:

- Hay una sobreexplotación del acuífero.
- Canarias sigue siendo muy dependiente de las aguas subterráneas.
- Hay una importante contaminación del acuífero por el uso de fertilizantes.

- Gestión eficaz y eficiente de los recursos hídricos subterráneos.
- Control de la calidad del recurso.
- La gestión debería ser integrada por las comunidades de agua, arrendatarios y la administración.
- Acometer el déficit de renovación existente en infraestructuras debe procederse a una gestión e inversión público-privada. El sector público no es capaz de esto por sí solo y si lo fuera, nunca llegaría a implantarse bajo un nivel de innovación alto, como si fuera participado por el sector privado.
- Recursos mixtos, subterráneos y procedentes de la desalinización de agua de mar.
- Las conducciones deben ser más eficientes se pierde mucho recurso de agua en el transporte.
- Una buena gestión mediante colaboración público-privada es fundamental para preservar las aguas subterráneas, siempre desde la recomendación de técnicos competentes con conocimientos de la problemática local.
- El futuro dependerá de la concienciación ecológica de los que gestionan los recursos y no permitir que pasen a manos de los que explotan por cuestiones económicas.
- Invertir en la forestación de las cuencas hidrográficas, para la mejora de la infiltración de la precipitación.
- La presión sobre las aguas subterráneas seguirá aumentando por las propias actividades económicas, mientras que los volúmenes medios de recarga disminuirán. Las amenazas sobre los recursos subterráneos serán más intensas. La gestión será más eficiente con sistemas de gestión público-privada.
- El futuro de los recursos hídricos subterráneos en las islas pasa

por cómo se afronten las políticas de gestión en relación a estos. Estas políticas, van desde una mayor concienciación sobre el uso del agua hasta cambios en los modelos productivos e industriales del archipiélago.

- La desalación es un apoyo como recurso, pero nunca una solución definitiva, a la hora de hacer una gestión integral de los recursos hídricos.
- Hay un progresivo abandono de pozos cuyo gasto energético para el bombeo del agua no puede ser asumido por sus propietarios.
- Los caudales están mermando y existen problemas entre las zonas de producción y las zonas de consumo. Es necesario gestionarlo a través de los Consejos Insulares de Agua, ya que las Comunidades de Agua no disponen de suficiente presupuesto y capacidad.
- Concienciar a la población de lo escaso del recurso.
- Concienciar al turismo sobre la necesidad de hacer un uso responsable de los recursos hídricos, durante su estancia vacacional.
- Gestión del agua con criterios científicos, que velen por su no agotamiento y/o contaminación, para garantizar su carácter renovable.
- Los recursos tienden a empobrecer/desaparecer debido a la sobre-explotación y exceso de carbonatos. Además de la baja recarga anual de los acuíferos debido a periodos sin precipitaciones.
- Destinar aguas de peor calidad para complejos con piscinas, parques acuáticos o jardines.
- Debería establecerse un protocolo de extracción de agua según

la precipitación recibida cada acuífero. Un recurso que nace de suelo público debe ser gestionado por la administración y la comunidad debe de ser beneficiada. Pero si este recurso surge de suelo privado debe gestionarse por un ente privado.

3.10 Gas radón y galerías de agua en Canarias

El radón es un elemento radiactivo que tiene distintas formas de presentarse en la naturaleza (isótopos radiactivos) y una de ellas, la más estable y abundante, es el Rn-222, en adelante simplemente radón. Este isótopo del radón es el que nos ocupa en el presente estudio.

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, IARC (International Agency for Research on Cancer), clasifica al radón como "carcinógeno para los humanos". Considera que todos los radionucleidos que emiten partículas α y que han sido estudiados en detalle, incluyendo al Rn-222 y sus descendientes, han demostrado que generan cáncer en humanos.

La normativa española en el ámbito de la seguridad laboral, establece la obligatoriedad de los titulares de determinados lugares de trabajo de declarar la situación en que estos se encuentran en cuanto a las radiaciones ionizantes que pueden afectar a sus trabajadores. Los territorios volcánicos son considerados por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) como "áreas identificadas", ya que requieren de especial atención pues pueden generar y favorecer la emisión de radiación ionizante producida por el radón. El radón se mide en becquerelios por metro cúbico (Bq/m^3). La normativa española establece un máximo legal en los centros de trabajo de $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

En particular las galerías de agua suponen unos centros de trabajo subterráneos y expuestos al gas radón, como así demuestran los es-

tudios de Santamarta (2019). Donde el umbral de los 300 Bq/m^3 (becquerelios por metro cúbico) se supera ampliamente en las mediciones realizadas en galerías de El Hierro, Tenerife y La Palma.



Figura 19; Instalación de detectores activos de gas radón.

Además de las conclusiones relacionadas con la seguridad laboral se han observado en los diferentes estudios, otras cuestiones de tipo hidrogeológico que se exponen a continuación:

- La presencia de un alumbramiento de agua hace que se incremente la cantidad medida de gas radón.
- A mayor porosidad y permeabilidad de los materiales que atraviesan las galerías, aumenta la cantidad de gas radón detectada por los aparatos.

- A mayores concentraciones de gases endógenos tipo CO_2 , presentes en las galerías aumentan los valores de gas radón.
- Galerías con menor ventilación mecánica presenta mayores valores de gas radón.
- Las aguas alumbradas pueden funcionar como un vehículo de transporte del gas radón dentro de la galería hasta su salida al exterior.
- El gas radón podría ser un marcador de aguas subterráneas según estudios coordinados por el autor del presente documento, durante 2018 y 2019.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

a) Conclusiones generales sobre la ingeniería minera del agua realizada en las Islas Canarias

Como conclusión general del estudio, se puede afirmar que la minería del agua después de 100 años es una tecnología fiable para el suministro de agua en las islas volcánicas oceánicas. Siempre que haya precipitaciones suficientes para que pueda haber recarga del acuífero.

El crecimiento económico de las Islas Canarias está vinculado a la producción de agua, en este sentido, la minería del agua que se ha hecho en las Islas Canarias ha sido uno de los vectores principales del desarrollo de las Islas.

En el caso particular de las Islas Canarias occidentales, estas explotaciones son las responsables de más del 90% del suministro del agua en las islas, cuyo máximo consumidor es la agricultura.

La minería del agua practicada en el archipiélago canario es una minería, con importantes similitudes a la realizada en las zonas mineras de la Península. Las galerías para el drenaje aguas subterráneas en las islas volcánicas se construyen con técnicas tradicionales mineras y el sistema de avance es mediante explosivos. La maquinaria es similar a la minería desarrollada en el norte de España, salvo algunas adaptaciones por lo reducido de la sección.

Los rendimientos en la perforación son menores que en terrenos sedimentarios, esto es debido a la heterogeneidad del material y a la

dureza de las rocas del terreno atravesado por la traza de la mina, principalmente basalto.

Los rendimientos de los explosivos son menores que en otro tipo de minería debido principalmente a las fisuras y grietas que presentan diferentes tipos de rocas volcánicas, por ejemplo, las escorias de las coladas volcánicas. Esto hace necesario más cantidad de explosivo por pega.

Algunas explotaciones no necesitan ventilación artificial, debido a que gracias al fenómeno de la difusión por la presencia de materiales muy porosos, hay un intercambio de aire con el exterior, disponiendo los operarios una atmósfera adecuada a los trabajos realizados.

En relación a la explotación de las minas, se describe que los principales problemas a los que se enfrenta la actividad minera en el interior de las instalaciones hidráulicas subterráneas en Canarias es el de la seguridad, que está condicionada por tres factores principalmente:

- La atmósfera potencialmente tóxica, con presencia importante de CO_2 en algunas instalaciones.
- La ausencia de comunicación con el exterior.
- Inexistencia de electrificación en las galerías.
- Estabilidad de las excavaciones.

En particular, a nivel de seguridad, se concluye que la mayor amenaza para los operarios que trabajan en esta tipología de minas son los altos contenidos en CO_2 y el gas radón, efectos que actualmente se están estudiando. Por otro lado, hay que destacar que no es posible la comunicación con el exterior de los operarios, las galerías no tienen instalación eléctrica, por lo que la iluminación es nula. En las tareas de rescate, los equipos de emergencia tienen el problema de tardar demasiado tiempo en acceder a los frentes de galería.

Con respecto a la estabilidad de las secciones de las explotaciones, hay que indicar que los desprendimientos son continuos, aunque hay variabilidad en la cantidad de materiales desprendidos. Los materiales que son generalmente más inestables en la traza de la mina son los piroclastos y las escorias de colada. Los desprendimientos afectan directamente a la explotación de la mina, dado que puede afectar a las conducciones de agua, a los conductos de ventilación y aire comprimido y, por último, a los raíles de las vagonetas. La solución en este sentido es clara, la construcción de sostenimientos (por bloques, placas metálicas, inyectado o gunitado) y las inspecciones de mantenimiento por parte de la dirección facultativa de la mina.

Sobre el estudio de nuevos sistemas constructivos, los únicos avances que se han estudiado para la mejora de la perforación de las explotaciones son los sondeos dirigidos, utilizados en la isla de Kawai (archipiélago de Hawái, EE.UU.), pero su elevado coste, hace inviable su aplicación en Canarias.

La maquinaria utilizada en la minería del agua está muy anticuada. Los motores usados para ventilación de las minas se usan de una manera puntual. Por ejemplo, en las visitas a las explotaciones, en el caso de los pozos, las instalaciones y máquinas son muy obsoletas, y sería necesario un plan para la renovación de los equipos, su automatizado, con el fin de reducir el intenso binomio agua-energía que existe en las islas.

Es una realidad que, a día de hoy, existe un número importante de explotaciones abandonadas, esto se debe a varios motivos, el primero es que desconoce el dueño o gestor de la mina, bien porque este ha fallecido, o bien, porque sus herederos no se hacen cargo de la gestión de la explotación. Otra cuestión es el abandono de la galería por ser esta no viable económicamente debido a los siguientes motivos:

- Caudales exiguos e irregulares que hacen imposible su gestión económica.
- Difícil transporte de esos caudales por una red inutilizada o con grandes pérdidas.
- Galería seca, sin recurso, debido a que ha quedado por encima del nivel freático o bien el frente de galería no drena caudales, a no ser que se amplíe la perforación.
- Por ello, y por motivos de seguridad esas galerías abandonadas o bien que los dueños no han cumplido con unas medidas de seguridad impuestas por la actual normativa, se clausuran.
- La captación de aguas a niveles más profundos del acuífero, es decir, cada vez más fósil es un problema relacionado con la calidad del recurso importante.
- Los principales problemas en relación a la calidad del recurso se pueden resumir en los siguientes:
 - Contaminación por intrusión marina: cloruro (Cl⁻).
 - Contaminación por malas prácticas agrícolas: nitratos (NO₃⁻).
 - Contaminación volcánica residual: bicarbonatos (HCO₃⁻), sodio (Na⁺) y flúor (F⁻).

La intrusión marina evoluciona progresivamente en la mayoría de los acuíferos costeros de las islas, y es el principal problema a nivel de gestión del acuífero costero. No sólo en las islas, si no a nivel de todo el país. Como se ha comentado es el acuífero más vulnerable y el que más sobreexplotado está.

En el acuífero costero no existen muchas galerías convencionales, la mayoría de las explotaciones son pozos o sondeos de menores profundidades que los aprovechamientos de las dorsales, la profundidad media es de 20 a 150 metros. En algunas islas se aprovecha este acuí-

fero mediante las galerías en trancada, o como se denominan en Hawái, “*inclined shaft*” o “*Moai type well*”.



Figura 20;Depósitos de carbonatos en un canal de una galería la zona sur de Tenerife (Arico)

La solución a este problema pasa por detener la explotación del recurso hídrico, por lo que no tiene mucha aceptación por parte de los gestores del aprovechamiento. Una vez que existen indicios de la contaminación por cloruros, su avance es progresivo, si no se toman medidas urgentes.

Existen estudios para detener el progresivo incremento de la salinidad de las explotaciones costeras mediante la recarga de acuíferos con agua regenerada. Puede ser el futuro para mejorar el estado general de los acuíferos insulares, siempre que estos no se vean afectados por contaminación al utilizar esta técnica.

Además de la presencia de carbonatos y de nitratos en las aguas. Uno de los problemas más importantes en relación a la calidad del recurso alumbrado por las minas son los altos contenidos de flúor. Este

problema de salud se extiende a numerosas islas volcánicas, como por ejemplo Terceira en Azores (Portugal), o en Madeira (Portugal). La aparición del flúor en las aguas alumbradas se vincula al drenaje de aguas muy fósiles o, en menor medida a la actividad volcánica. La cuestión de los altos contenidos (mayores de 1,5 mg/L) de flúor en el agua de abasto no es fácilmente solucionable. Requiere de un esfuerzo técnico muy importante y los resultados de aplicación de las diferentes técnicas no son muy satisfactorios, en relación al resultado final en calidad y a los aspectos económicos. Las galerías que comienzan a dar cantidades elevadas de flúor en sus aguas la única solución existente es el cese de la explotación para intentar la recuperación del acuífero. Este cese temporal no es cuestión de días, ni de meses, si no de décadas, lo cual no suele ser una solución que interese al gestor de la explotación.

La contaminación por nitratos, acontece fundamentalmente en las explotaciones mediante pozos y sondeos es prácticamente nula en la explotación de agua mediante las galerías. En Canarias, esta contaminación es producida fundamentalmente por la actividad agrícola, en otros sistemas insulares, como por ejemplo en las Azores, la contaminación de nitratos ocurre por la existencia de una ganadería intensiva de vacuno. En particular en Canarias el exceso de nitratos tiene su origen en la contaminación de acuíferos de la zona baja del Valle de La Orotava por el uso de nitratos en la agricultura. Este problema es muy intenso también en La Aldea de San Nicolás, en Gran Canaria.

b) Conclusiones sobre los aspectos ambientales

Las galerías o minas de agua no necesitan aporte energético para su funcionamiento, salvo en explotaciones de carácter mixto, es decir minas que tengan a lo largo de su traza catas o sondeos verticales que

necesiten un aporte energético para poder bombear y transportar el recurso. Los consumos energéticos se limitan, a la ventilación de la galería cuando está en fase de construcción, reperfusión o bien, cuando es visitada por los operarios de mantenimiento o la dirección de la explotación.

Este aspecto energético es quizás, la mayor ventaja que tienen este tipo de explotaciones. La cota a la que se construye la mina y la pendiente de la traza, hace que por gravedad se obtenga el recurso desde el frente de la galería. Esto también es beneficioso para su gestión, porque habitualmente, las poblaciones o cultivos a abastecer están en cotas inferiores (cultivos agrícolas) o incluso en zonas costeras (zonas urbanas o turísticas).

Las galerías de agua son las obras de captación cuyas emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) durante su explotación es muy reducida, desde el punto de vista medioambiental son explotaciones cuyo impacto en el medioambiente es muy residual, al contrario de una planta desalinizadora de agua de mar. En una galería la cantidad de agua captada no afecta en la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos.

La operación de las galerías de agua drena aguas subterráneas, es decir, no disminuyen el agua que aprovechan las plantas o los animales. En su fase constructiva, generan escombros, también durante su construcción pueden generar vibraciones en el territorio. Las galerías pueden hacer mermar los nacientes y reducir los caudales que naturalmente correrían por los barrancos alimentando esos ecosistemas.

Su impacto visual también es casi nulo, salvo los acopios de materiales extraídos en la perforación. Estos acopios pueden ser utilizados como zahorra en caminos forestales o bien, según casos, restaurados mediante vegetación.

El escenario ideal en la gestión de las explotaciones de la minería del agua es la regulación de los caudales mediante el uso de los diques seleccionados de la traza de la mina. Esto hace que aumente la eficiencia en el uso del agua, dado que se puede utilizar esos cierres para sólo extraer el agua de recarga, es decir la renovable. En este sentido existen casos de éxito actualmente funcionando en las islas de La Palma y El Hierro. Esta experiencia existe también en numerosas islas volcánicas a nivel mundial.

c) Conclusiones sobre la gestión de los recursos hídricos alumbrados

En los aspectos relativos a la gestión y economía del agua se avecina un importante cambio en el modelo de gestión del agua en Canarias. A partir de la Ley de Aguas de 1990 se otorgaron 50 años de periodo transitorio para el cambio de titularidad de las aguas del sector privado a titularidad pública. Este cambio ocurrirá en el año 2040, es decir, dentro de unos 20 años. Supondrá un periodo de incertidumbre importante, dada la magnitud del número de explotaciones e infraestructuras que pasarán a manos públicas. Es necesario comenzar a planificar desde ya el futuro escenario de la gestión del agua en Canarias.

Las fuentes de abastecimiento en las islas occidentales en un futuro a este nivel de extracción deberán ser mixtas, es decir mediante aguas subterráneas y desalinización de agua de mar.

El factor limitante para la explotación de un acuífero de una isla volcánica es la recarga disponible. Esta recarga, obviamente depende de las precipitaciones disponibles, y que parte de esa precipitación que se infiltra en el terreno llegue de manera efectiva a recargar el acuífero. Si explotamos un acuífero donde la recarga es muy reducida, lo que estamos drenando es agua fósil, que sólo podrán ser utilizadas, con la limita-

ción impuesta por la calidad del recurso hídrico, durante un periodo muy corto de tiempo. Además, en el caso insular, esa recarga puede estar muy influenciada y afectada por el spray marino, es decir, por cloruros, lo cual hace que la recarga esté cargada de sales, el acuífero dispondrá de mala calidad de aguas.

El gran lastre de la hidrogeología de las islas volcánicas y en particular de las Islas Canarias, es el conocimiento efectivo de la recarga del acuífero. En este sentido, es necesario promocionar más proyectos de investigación que mejoren la cuantificación de este parámetro de vital importancia.

Otro problema es la inexistencia de un telecontrol de los caudales alumbrados, dependen de una medida manual, que en ocasiones, facilita el propio gestor de la explotación. Por parte de la Administración sería imposible asumir mediciones de caudal sistemáticas de manera manual, dado que existen sólo en Canarias más de 7000 explotaciones, incluyendo pozos y sondeos. En definitiva, el hecho no conocer en tiempo real la cantidad de recurso drenado impide hacer una gestión apropiada de la demanda y usos. Tampoco es posible disponer de una información real para el apoyo de decisiones en materia de gestión y planificación hidrológica. En este sentido, el ejemplo de Hawái, es importante, dado que allí se controlan los caudales alumbrados por las explotaciones, incluyendo los recursos superficiales, actualmente se monitorizan los diferentes cursos de agua que discurren por las islas.

Además de este telecontrol y conocimiento de los acuíferos insulares, es necesario invertir más en investigación. En el caso particular de Canarias, los estudios realizados son muy dispersos, limitándose en algunas ocasiones a los Planes Hidrológicos Insulares. Los últimos grandes estudios, datan de los años 70 como el proyecto SPA-15 (1975). Este

gran proyecto auspiciado por la UNESCO y las investigaciones paralelas fueron pioneras en la hidrogeología de las islas volcánicas oceánicas. Este conocimiento se ha extendido gracias a los diferentes Planes Hidrológicos y a diferentes tesis doctorales impulsadas por Universidades Peninsulares y por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, pero, a día de hoy, es insuficiente.

Sobre la calidad de los recursos alumbrados, las amenazas son las siguientes: desde el punto de vista de calidad del recurso, las aguas subterráneas de Canarias tienen el problema del CO_2 que afecta directamente a las aguas, lo cual genera salinización del acuífero, aguas bicarbonatadas sódicas y altos contenidos en flúor. Como efectos antrópicos está la intrusión marina, lo cual genera salinización del acuífero costero. Otro efecto negativo importante son los retornos de riego, con nitratos, salinización del acuífero y plaguicidas, casos de estudio se extienden por la geografía insular tales como Buenavista en Tenerife o La Aldea en Gran Canaria. Por último, contaminaciones puntuales, por vertidos de industrias o vertederos no autorizados.

En relación a la gestión económica, El PHE (potencial hidroeconómico) del agua en Canarias es el siguiente: el de las aguas subterráneas con un precio medio de 0,36 euros, la producción de las galerías es de 207 hectómetros cúbicos al año, lo que supone un PHE de millones de euros. Los pozos, con un caudal aproximado de 136 hectómetros cúbicos al año (sin contar con Fuerteventura) suponen un PHE de 49 millones de euros. El de las aguas desalinizadas procedentes del mar, con un precio medio de 0,93 euros (235 hm^3), 234 millones de euros y finalmente el de las aguas reutilizadas, con un precio medio de 0,505 euros (20 hm^3), 10,1 millones de euros.

La mayor parte de los recursos alumbrados se destinan a la agricul-

tura, por lo para esta actividad se destinan unos porcentajes importantes, en algunos casos el 80%, de agua de mucha calidad. Este patrón de consumo se repite en la mayoría de las islas estudiadas.

En el caso de la desalinización de agua de mar, de la producción total de agua, en Canarias (643.212 m³/día), el 66,58% (428.219 m³) se destina al abastecimiento, el 32,97% (212.043 m³) a riego y el 0,46% (2950 m³) a consumo industrial.

Por lo tanto, a día de hoy, las aguas subterráneas son la base de la actividad agrícola, sector fundamental en las islas. No se prevé, que en los próximos años esta situación cambie, si bien aumenta la producción industrial de agua de mar, esta se destina, fundamentalmente, al abastecimiento urbano.

Es de justicia reconocer que el desarrollo económico actual de Canarias es en parte debido a la disponibilidad del agua subterránea para su uso en la agricultura, consumo urbano, industrial y, en menor medida el consumo turístico.

Estos recursos subterráneos no fueron obtenidos por la iniciativa pública, si no, por unas inversiones, que, durante el principio del siglo XX, apostaron sus recursos económicos en la construcción de las minas de agua, cuando esta no era suficiente para mantener los diferentes sectores económicos de aquella época. En unas ocasiones, con menor o mayor acierto, se consiguió aumentar la disponibilidad de agua y con ello mejorar las condiciones de unas islas aisladas y que necesitaban depender de ellas mismas para subsistir.

En relación a la gestión de los recursos alumbrados se hacen las siguientes recomendaciones:

- Establecer unos precios marco, es decir dar estabilidad a los precios.

- Mejorar los registros y control de caudales generados, tanto naturales como artificiales.
- Mejorar la red de transporte de aguas, dada sus grandes pérdidas.

Finalmente indicar, a modo de conclusión que es necesario comenzar con una etapa de reflexión y de planificación sobre el futuro de los recursos hídricos, en especial los subterráneos, para cuando llegue la transferencia de las explotaciones esta haya sido llevada a cabo mediante un consenso social de todas las partes indicadas. De lo contrario nos encontraremos con un caos que puede llevar al colapso de la distribución de los recursos hídricos.

Es importante que los recursos hídricos alumbrados lleguen con calidad suficiente a los cultivos donde van a ser utilizados, dado que este sector sigue siendo muy estratégico en las islas volcánicas en general y en particular para las Islas Canarias.

La Administración Hidráulica y las Universidades de la Isla deben seguir investigando y controlando la contaminación difusa para evitar el deterioro de los acuíferos insulares, en esta actividad se recomienda que se apoye en las universidades y centros de investigación.

d) Futuras vías de investigación

Entendiendo que la geología de las islas volcánicas es muy compleja, heterogénea y difícil de parametrizar. Es necesario introducir a todos los niveles las nuevas técnicas de prospección de los recursos hídricos subterráneos. Estas técnicas pueden ayudar a mejorar el conocimiento de los mismos, eso incluye una gestión racional de los aprovechamientos, dado que se podría reducir el error en la estimación de los recursos hídricos verdaderamente renovables y que pueden ser drenados de una manera sostenible del acuífero.

Debemos recordar que, durante el periodo de mayor construcción de minas de agua, el criterio para la ubicación de la bocamina era una especie de "ensayo y error", por observación se valoraban los caudales de explotaciones más cercanas, y se pensaba que zonas con galerías con caudales muy importantes podrían albergar más aprovechamientos. También se intentaban localizar nacientes, diques, formaciones singulares que pudieran ser susceptibles de alumbrar aguas, intuición, etc.

Es necesario abordar lo antes posible la automatización de la adquisición de datos de caudales y otros parámetros de estudio del agua alumbrada en las galerías. Este desarrollo podría abrir numerosas vías de investigación, en relación a la evolución del drenaje del acuífero.

Se debe potenciar los estudios encaminados a la recarga artificial del acuífero con aguas regeneradas.

Finalmente, la última vía de investigación planteada es la posibilidad de utilizar a las galerías como recurso turístico. Qué duda cabe, que, en los últimos años, numerosas infraestructuras vinculadas al patrimonio hidráulico e industrial se están utilizando como recurso turístico. En el caso de las galerías o minas de agua, existen numerosos ejemplos a lo largo de la geografía mundial. Si bien el mayor impedimento que existe es la seguridad de las instalaciones que, como se recordará, están vinculadas a la ley de minas, lo cual es difícil que pudiera vincularse estas explotaciones al uso turístico, salvo que se adaptaran de una manera importante.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Aguarta, M., Mesa, J., Rodríguez Brito, W. (1997). Economía y mercado de aguas subterráneas en Canarias. Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias. AIH-GE. Las Palmas de Gran Canaria: 113-117.
- Aguilera, F. (2002). Los mercados del agua en Tenerife. Bilbao, Bakeaz/Fundación Nueva Cultura del Agua, 144 pp.
- Angollotti, J.R. (1974). Nota sobre los mercados del agua en Gran Canaria en 1974. Documentos del Proyecto SPA-15.
- Antequera, M., Iranzo, E., Hermosilla, J. (2014). Las galerías drenantes en España: cuantificación y clasificación tipológica de los sistemas horizontales de captación de aguas subsuperficiales. En Sanchis-Ibor, C.; Palau-Salvador, G.; Mangue Alférez, I.; Martínez-Sanmartín, L.P. (Eds.), Irrigation, Society, Landscape. Tribute to Thomas F. Glick (pp 1.139-1.154). Valencia. Universidad Politécnica de Valencia.
- Brito, Wladimiro. (1995). El agua en Canarias y el siglo XXI. Cabildo Insular de Gran Canaria.
- Cebrián, B., Muñoz, J. (2005). Últimos desarrollos en la excavación de túneles mediante
- Perforación y Voladura. Ingeopres Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, 137, pp.104-109.
- Custodio, E. (2011). Comentarios sobre el comercio y mercados del agua subterránea en Canarias. El conocimiento de los recursos hí-

- dricos en Canarias cuatro décadas después del proyecto SPA-15. Homenaje póstumo al Dr. Ingeniero D. José Sáenz de Oiza, pág. 141-147.
- Gobierno de Canarias (2017). Sistemas de extracción tradicionales: Pozos y galerías. [online]. Disponible en: <http://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/piac/temas/aguas/mas-informacion/sistemas-extraccion-tradicionales/> [Acceso 30 Jul. 2016].
 - Guerra Marrero, J.L. (1999). El mercado del agua en Canarias. Aguas Subterráneas y Abastecimiento Urbano. ITGE. Madrid: 317-323.
 - Hernández Gutiérrez, L., Santamarta, J.C. (2015). Ingeniería geológica en terrenos volcánicos. Tenerife: Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
 - Hernández Gutiérrez, L.E. (2015). Caracterización geomecánica de las rocas volcánicas de las islas Canarias. (Tesis doctoral). Universidad de La laguna. Tenerife.
 - Jiménez Suárez, J. (1997). Mercado del agua en Canarias. El Mercado del Agua, Normativa, Liberalización de Concesión y Oportunidades de Negocio. Jornadas Hidro'97. Expansión. Madrid (30-09-1997).
 - Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas.
 - Ley 10/2010, de 27 de diciembre, de modificación de la Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas.
 - Luis Domínguez, M., Socas García, M.I. (2015). Análisis económico de los recursos hidrológicos de Tenerife. Trabajo de fin de Grado. Universidad de La Laguna.
 - Marcelino Castro, A.D., (2015). Estudio socioeconómico sobre las galerías de Agua pertenecientes al término municipal de Guía de Isora, en la isla de Tenerife (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de La Laguna.
 - Mapama.gob.es. (2017). Calculadoras - Mitigación: políticas y medidas - Cambio climático - mapama.es. [online] Available at: <http://>

www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/caluladoras.aspx [Accessed 21 Jan. 2017].

- MOPU-UNESCO (1970-1975). Estudio científico de los recursos de agua en las islas Canarias (SPA/69/515). Ministerio de Obras Públicas, Madrid.
- Nuez Yáñez, J.S., Carnero Lorenzo, F. (2003). El mercado del agua en Canarias, una perspectiva histórica. *Revista de Historia Económica*, 21(2): 373-398.
- Santamarta Cerezal, J.C., Hernández-Gutiérrez, L.E., Rodríguez-Martín, J., Lario-Bascones, R., Morales-González-Moro, A. (2019). Radon gas and groundwater. Study of risks in water galleries in Tenerife (Canary Islands, Spain) *Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge*. Fernandes, Francisco, Malheiro, Ana, Chaminé, Helder I. (Eds.) Springer.
- Santamarta Cerezal, J.C. (2017). Minería del agua en islas y terrenos volcánicos. Análisis hidrológico en explotaciones en la zona sureste de la isla de Tenerife, islas Canarias. Tesis (Doctoral), Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas. Universidad de León.
- Santamarta, J.C. et al. (2012). Avances en la investigación de los recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos. Colegio de Ingenieros de Montes.
- Santamarta Cerezal, J.C., Suárez, F. (2015). Minas y galerías de agua para la captación de aguas subterráneas en las Islas Canarias. *Ingeopress* 243, 26-29.
- Santamarta, J., Hernández-Gutiérrez, L. and Rodríguez-Losada, J. ed., (2010). Volcanic dikes engineering properties for storing and regulation of the underground water resources in volcanic islands. In: *Volcanic Rock Mechanics Rock Mechanics and Geo-engineering in*

Volcanic Environments, 1st ed. Londres: Claudio Olalla, Luis E. Hernández, J. A. Rodríguez-Losada, Áurea Perucho and Javier González-Gallego CRC Press, pp. 95-98.

- Santamarta Cerezal, J.C. (2009). Singularidades sobre la construcción, planificación y gestión de las obras y recursos hídricos subterráneos en medios volcánicos. Estudio del caso en las Islas Canarias occidentales. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). Universidad Politécnica de Madrid.
- Santamarta J.C., (2016). Tratado de Minería de Recursos Hídricos en Islas Volcánicas Oceánicas. Sevilla: Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Sur.
- Santamarta J.C., (2017). Minería del Agua en Islas y Terrenos Volcánicos. Análisis Hidrológico en Explotaciones en la Zona de Tenerife, Islas Canarias. Tesis (Doctoral), Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas. Universidad de León.
- Santana, L. (2012). ¿Existe cambio pluviométrico en los últimos 40 años en Tenerife? Agrocabildo.Tenerife.
- Soler Liceras, C. (2004). Obras y aprovechamientos hidráulicos. Apuntes de la Asignatura. Universidad de La Laguna.
- SPA-15, (1974). Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515). Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Obras Hidráulicas. UNESCO. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. 3 volúmenes y mapas.
- Suárez Moreno, F. (2015). Minas de Agua en Gran Canaria (1501-1950). Cabildo de Gran Canaria. Consejo Insular de Aguas.
- Suárez Moreno, F. (2011). Historia y cultura del agua en Canarias. En actas de las I Jornadas de la Cultura del Agua. Cabildo de Gran Canaria.

SOBRE EL AUTOR

Juan Carlos Santamarta Cerezal es Doctor Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), en el programa de Ingeniería Hidráulica y Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Doctor con mención internacional por la Universidad de León, en el programa Geología Aplicada y Ambiental de la Escuela Técnica y Superior de Ingenieros de Minas.



Ingeniero Civil, Ingeniero en Recursos Energéticos e Ingeniero Técnico de Minas por la UPM. Máster Universitario en Ingeniería del Agua por la Universidad de Sevilla y Postgrado en Dirección de Empresas por la Escuela de Organización Industrial de Madrid (EOI).

Profesor de la Universidad de La Laguna desde el año 2008, fue científico colaborador del Water Resources Research Center (WRRC) de E.E.U.U. (2013-2015). En España, es investigador colaborador del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales (IUACA) de la Universidad de Alicante desde el año 2012 e investigador adscrito al Instituto del Agua de la Universidad de Barcelona desde 2018. Dirige el grupo de investigación INGENIA (Ingeniería Geológica, Innovación y Aguas). Profesor visitante y colaborador de diferentes universidades nacionales como la UPM, donde es profesor invitado del programa de doctorado sobre Ingeniería y Gestión del Medio Natural y de los cursos europeos

ATHENS en la ETSICCP sobre recursos hídricos, la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad de Sevilla, la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, la Universidad Nebrija en Madrid donde fue profesor asociado de grados y postgrados y la UNED donde es profesor tutor desde el año 2008. Profesor visitante y de cursos de especialización y postgrado en universidades internacionales como la Universidad Internacional de Florida (USA), la Universidad de Azores (Portugal), la Universidad de Cabo Verde, la Universidad de Wroclaw (Polonia) y la University of Agriculture in Krakov (Polonia). Su actividad investigadora se resume en 183 publicaciones científicas (47 artículos científicos, 52 capítulos de libros, 18 libros editados, 66 congresos nacionales e internacionales) relacionadas con el agua y el medioambiente en las islas volcánicas. Ha participado en 27 proyectos de investigación, 17 como investigador principal (12 internacionales, 2 nacionales, 6 regionales y 7 con empresas). Consiguió los primeros proyectos europeos Erasmus+ y los pertenecientes al programa europeo de investigación Interreg Atlantic desarrollados en Canarias, siendo premiado por la Comunidad Europea por la ejecución ejemplar y resultados de uno de ellos. Director de 4 tesis doctorales, 4 actualmente en desarrollo. Editor de la serie Hydrogeology de la editorial alemana Springer. Ha dictado más de 30 asignaturas relacionadas con el agua, el medioambiente, la ingeniería civil e industrial. Más de 140 seminarios y cursos impartidos relacionados con el agua en diferentes universidades españolas y europeas, ha dirigido más de 100 cursos de verano, de extensión universitaria y cursos técnicos profesionales. Director del Aula Cultural del Agua de la Universidad de La Laguna desde 2015. Miembro del Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España (2017-2019) actualmente en el Comité de I+D+i. A nivel profesional, ha trabajado en el ámbito de la

Ingeniería durante más de 20 años en el diseño y dirección de proyectos singulares relacionados con el agua y la ingeniería del terreno en empresas punteras del país como FCC, SGS Tecnos, ENDESA, CEPSA y para las Administraciones de las Islas Canarias, participando en numerosos proyectos de investigación, consultoría y asesoramiento. Decano del Colegio Oficial de Ingenieros de Montes en Canarias desde el año 2010. Fundador del Centro de Investigación Aplicada del Agua Biblioteca del Agua de Canarias en 2008. Premio en Innovación Docente en 2013 (menciones de calidad en 2012, 2014 y 2015) y Premio de Investigación de Canarias en materia de ingeniería civil "Agustín de Betancourt" 2018.

Actualmente es el Director adjunto de la Sección de Ingeniería Agraria y Subdirector de Infraestructuras de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de la Universidad de La Laguna.

Contacto:

Universidad de La Laguna

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería.

Sección de Ingeniería Agraria.

E-mail: jcsanta@ull.es

Colabora en su impresión:



**Vicerrectorado de Cultura, Participación
Social y Campus Ofra y La Palma**
Universidad de La Laguna



Aula Cultural del Agua
Universidad de La Laguna

