

¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias

E. Custodio⁽¹⁾ y M. C. Cabrera⁽²⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España, C/ Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid

(2) Fac. Ciencias del Mar, Univ. Las Palmas de Gran Canaria, Tafira Baja, Las Palmas de Gran Canaria

RESUMEN

Escasez de agua no necesariamente significa pobreza, como se deduce de un análisis de áreas geográficas. Hay países relativamente ricos con escasos recursos hídricos y países pobres con abundancia de agua dulce. La sociedad humana desarrollada dispone de recursos científicos, técnicos, económicos, institucionales y políticos para adecuar la disponibilidad de agua a la demanda y viceversa, de un modo tendente a la sustentabilidad, siempre y cuando las actividades económicas se modifiquen convenientemente y esa sustentabilidad sea un objetivo social deseado y participado. El Archipiélago de Canarias está en la región árida sahariana, aunque con áreas de pluviosidad relativamente elevada en sus vertientes septentrionales afectadas por la circulación de los vientos alisios y masas atlánticas de aire húmedo. La escasez de agua es algo bien asumido e internalizado en muchas de las áreas insulares canarias, en especial tras la explosión demográfica del siglo XX. No por ello deja de ser una región europea de economía aceptable y notablemente rica relativa al entorno geográfico próximo. La consecución de agua dulce es el resultado acumulado de un gran esfuerzo económico e imaginativo secular, con matices diferentes en cada isla y en cada parte de una misma isla. Sin embargo subsisten o han aparecido graves disfunciones a causa de la rápida evolución, arraigo de actividades agrícolas no sustentables, debilidad institucional y escasa participación ciudadana en la política del agua a largo plazo, en un ambiente científico y técnico aún por consolidar. No obstante, los logros en captación de aguas subterráneas son espectaculares y el avance en desalinización y reutilización son muy notorios.

Palabras clave: agua subterránea, escasez de agua, gestión del agua, Islas Canarias, recursos de agua

How to live together with water scarcity? The example of the Canary Islands

ABSTRACT

Water scarcity does not necessarily means poverty, as can be deduced from the study of geographical areas. There are countries that are relatively rich with scarce water resources and poor countries that have plenty of freshwater. A developed human society has scientific, technical, economic, institutional and policy resources to adapt water availability to demand, and vice versa, in a way that tends to sustainability. This needs modifying conveniently economic activities and making sustainability a wanted and participated social goal. The Archipelago of the Canaries is placed in the Saharan dry belt, although there are some areas of relatively high rainfall in the north-facing slopes of the islands, which intersect the circulation of trade winds and atlantic humid air masses. Water scarcity is something well assumed and internalised in many of the areas of the Canaries, especially after the demographic explosion of the XX century. But this does not imply poverty; actually it is an European region with acceptable economic level and notably rich respect the nearby geographical area. Freshwater wining is the accumulated result of secular economic and imaginative efforts, which present differences from island to island and even inside the same island. However some serious malfunctions remain or have appeared due to the fast evolution, persistence of unsustainable agricultural activities and still scarce public participation in long-term water policies. This happens in a scientific and technical environment which is still to be consolidated. However there are spectacular achievements in groundwater wining, and there are notorious progress in desalination and water reuse.

Key words: Canary Islands, ground water, water management, water resources, water scarcity

Introducción

La cualificación de abundancia o escasez de agua expresa la situación relativa cuando se comparan por un lado las necesidades de una sociedad humana con un determinado grado de desarrollo económico y social, y por otro los recursos de agua dulce, de calidad adecuada a su uso previsto, y a un coste deter-

minado, que se pueden poner a disposición para su uso, en un determinado contexto geográfico y teniendo en cuenta las infraestructuras existentes para su captación, transporte, almacenamiento, distribución y tratamiento.

Las necesidades de agua que conforman la demanda comprenden tanto las cantidades necesarias en un tiempo determinado para cubrir las dota-

ciones mínimas poblacionales que definen el nivel de vida y sanitario, como las que se necesitan para atender al bienestar social, las actividades económicas y las de conservación de los valores naturales. Estos últimos hacen referencia a los aspectos ecológicos y medioambientales asociados al agua. Las actividades económicas incluyen las urbanas, industriales y energéticas, y las agrícolas. Estas últimas pueden llegar a ser el término dominante de la demanda en muchas áreas y a dominar la política del agua. Escasez o abundancia de agua no necesariamente van ligados a la pobreza o riqueza del país (Llamas y Custodio, 2002) y pueden no estar relacionadas. El análisis de las necesidades de agua se inserta en un complejo sistema interrelacionado de variables dinámicas, pues ni las demandas de agua ni los recursos de agua para atenderlos son valores fijos. Varían a lo largo del tiempo en función de las aportaciones pluviométricas a ríos y acuíferos, de la utilización de recursos naturales y artificiales, de los costes de gestión, de los precios que se impongan, o de las decisiones político-administrativas. Además de cambios a plazo corto (meses) y medio (pocos años), hay cambios a largo plazo (décadas), según la evolución social y de las actividades humanas. La disponibilidad de agua es función de las infraestructuras hidráulicas disponibles en un cierto territorio (embalses, canales, pozos, galerías, conducciones, depósitos, plantas de tratamiento,...), y de cómo se gestionan. Esta disponibilidad tiene unos límites físicos y de calidad del agua, tanto en el propio territorio y como en cuanto a la posible obtención de agua de otros territorios, o de producirla a partir de agua salobre o salina, o de reutilizar agua usada, o de la extracción de reservas multianuales en grandes sistemas acuíferos. Estas posibilidades no sólo se han de ver bajo el punto de vista técnico -las dificultades son en general resolubles- sino que se han de evaluar económica y socialmente a medio y largo plazo, y también teniendo en cuenta el posible efecto del cambio climático. Estos aspectos suelen ser los que pueden hacer inviable un proyecto dado, dentro de unas circunstancias locales determinadas.

En el caso de islas existe una limitación geográfica para encontrar recursos de agua en un ámbito territorial más amplio, salvo excepcionalmente cuando se puede transportar de una isla a otra, o desde el continente mediante tubería submarina (corta distancia) o por flotación (barco-tanque o depósito atado). Es en las islas donde los problemas de escasez pueden tener una mayor repercusión en la mentalidad de la población, y donde las actividades económicas de gran demanda de agua pueden quedar fuera de perspectiva. Aún así pueden haber alcanzado cierto desarrollo en épocas pasadas, como es el caso de

Canarias, con cultivos como la caña de azúcar o la platanera. En los lugares más áridos la necesidad ha ido elaborando modos ingeniosos para reducir la demanda de agua y/o para aumentar su oferta, en el intento de convivir con la escasez de agua.

El agua en Canarias: gran variación espacial y temporal

El archipiélago de Canarias constituye administrativamente una de las Comunidades Autónomas de España y consiste en dos Provincias sobre siete islas mayores (Figura 1), cada una con su Cabildo Insular, que es la Administración local de la isla. Se sitúan frente a la costa sahariana de África, a 100 km de distancia mínima, y se extienden hacia el oeste a lo largo de casi 500 km, encuadrándose entre las latitudes 27° 37'N y 29° 30'N, y las longitudes 13° 30'W y 18° 10'W. La superficie total es de 7446 km². Soportan casi 1 800 000 habitantes, más del 80% de los cuales se concentra en las islas de Gran Canaria y Tenerife. La densidad de población es muy alta, alcanzando los 475 hab/km² en Gran Canaria, y aún lo es más localmente si se considera la escasez de áreas llanas aptas para asentamientos humanos en las partes menos áridas.

Se trata de islas de naturaleza volcánica por acumulación de materiales efusivos sobre el fondo oceánico, con las correspondientes estructuras intrusivas (Custodio, 2002b). La parte submarina del edificio e incluso el basamento submarino llegan a aflorar en algunas islas tras su levantamiento tectónico y posterior erosión y/o deslizamiento de la parte subaérea. El inicio de su formación es tardicretácico y las primeras efusiones subaéreas son Miocenas. El archipiélago responde en buena parte a la posible existencia de un extenso punto caliente cuya posición relativa se ha ido desplazando de Este a Oeste, de modo que a grandes rasgos las islas orientales son las más viejas (20 Ma) y las más occidentales están aún en formación. La construcción subaérea de cada una de las islas que sigue a la acumulación de lavas basálticas sobre los fondos submarinos, puede dividirse en tres estadios bien diferenciados. En el primero tiene lugar un volcanismo basáltico de tipo fisural, con la construcción de grandes edificios en escudo cuyo rápido crecimiento puede dar lugar a grandes deslizamientos gravitacionales. Actualmente se encuentran en este estadio las islas de La Palma y El Hierro. A continuación se produce una etapa erosiva, caracterizada por la ausencia de actividad volcánica, en la que se produce la formación de barrancos radiales y el depósito de sedimentos en las zonas distales de los mis-

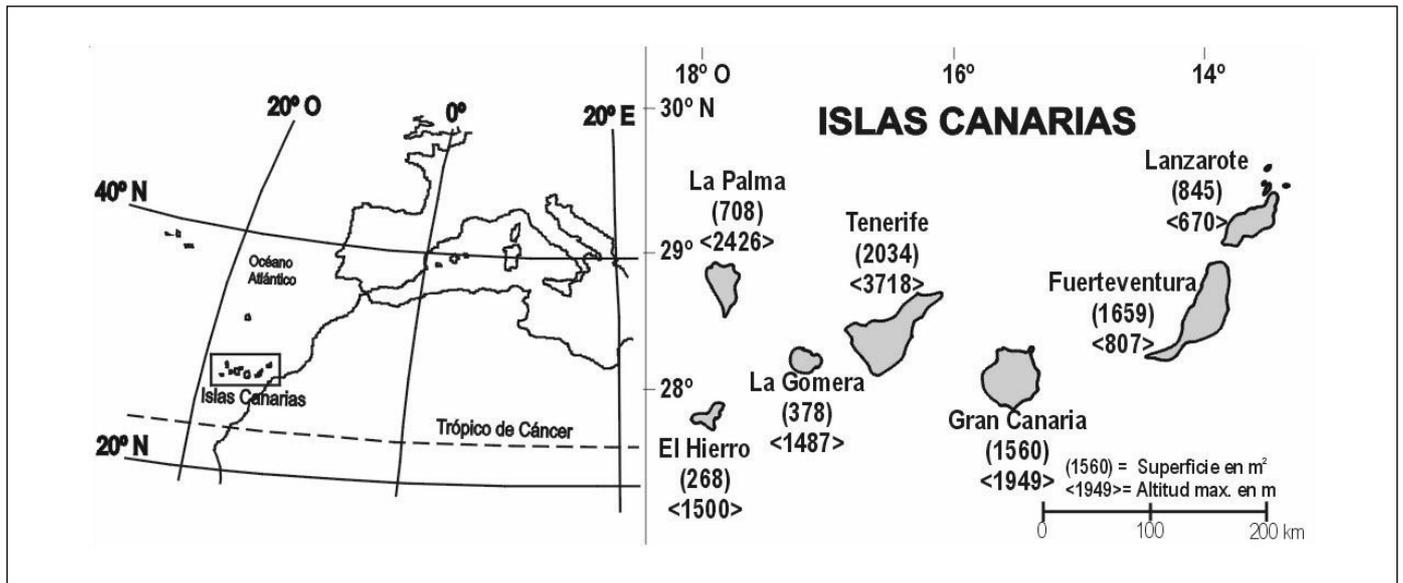


Fig. 1. Situación general de las Islas Canarias, con indicación de la superficie en km² de las islas mayores (entre paréntesis) y su altitud máxima en metros (entre corchetes)

Fig. 1. General situation of the Canary Islands, indicating surface area (km²) of the major islands and the maximum altitude (m)

mos, como ocurre ahora en la isla de La Gomera. Por último, el estadio posterosivo se caracteriza por una reactivación del volcanismo, con mucha menor intensidad y volúmenes emitidos mucho menores que en la fase de volcanismo en escudo. En este estadio se encuentran en el presente las islas de Fuerteventura, Lanzarote, Gran Canaria y posiblemente ya también Tenerife.

El hecho de la ubicación del archipiélago en el área sahariana de altas presiones dominantes hace que la pluviometría a nivel del mar sea muy escasa, en especial en las islas orientales (Figura 2). El valor medio a nivel del mar es del orden de 50 a 100 mm/año, y aumenta ligeramente con la altitud. Pero en las islas altas (todas menos las dos más orientales, Lanzarote y Fuerteventura) se produce un notable efecto orográfico sobre los vientos alisios húmedos del NE, que produce lluvias abundantes en las laderas orientadas al noreste, donde se puede llegar a rebasar un promedio de 900 mm/a en los lugares más propicios, dejando en 'sombra' a las laderas a sotavento, que así se mantienen áridas. Efectos similares suceden para los vientos ocasionales tormentosos del W y SW, que en algunos años pueden dejar precipitaciones importantes en estas zonas, que normalmente reciben escasas precipitaciones.

La consecuencia de lo expuesto es que en las limitadas zonas lluviosas se generan importantes recursos de agua dulce, pero que solo ocasional y localmente dan lugar a escorrentía superficial a causa de

la general alta permeabilidad de los suelos. Buena parte de la lluvia no evapotranspirada se transforma en recarga a los acuíferos volcánicos (Custodio, 1997a), por los que el agua subterránea fluye hacia la costa, si bien puede aflorar antes cuando hay cambios litológicos o cambios topográficos (Custodio, 1989). El detalle del flujo del agua subterránea es notablemente complejo y varía de una isla a otra, y de un lugar a otro. Así, Gran Canaria, antes de la intensiva explotación actual de las aguas subterráneas disponía de numerosos manantiales (nacientes) en el interior de la isla y cursos de agua permanentes alimentados por los mismos, como también sucede aún en menor escala y más localmente en La Palma y Gomera. Pero en otros casos en que existen recubrimientos volcánicos recientes y continuos, como en buena parte de Tenerife, La Palma y El Hierro, y también en la mitad norte de Gran Canaria, no aparecen nacientes importantes en el interior de la isla, sino que la descarga del agua subterránea se produce al mar a lo largo de la costa. Así se tienen grandes extensiones de territorio en que no existen aguas dulces en superficie. Esto unas veces coincide con la presencia de una buena cubierta de vegetación y otras con el aspecto semidesértico que produce un suelo semidesnudo, con plantas dispersas (tabaibas, cardones, ...), en función del régimen pluviométrico, la existencia y tipo de suelo, y la salinidad ambiental.

En las islas orientales de Lanzarote y Fuerteventura, donde las lluvias orográficas casi no

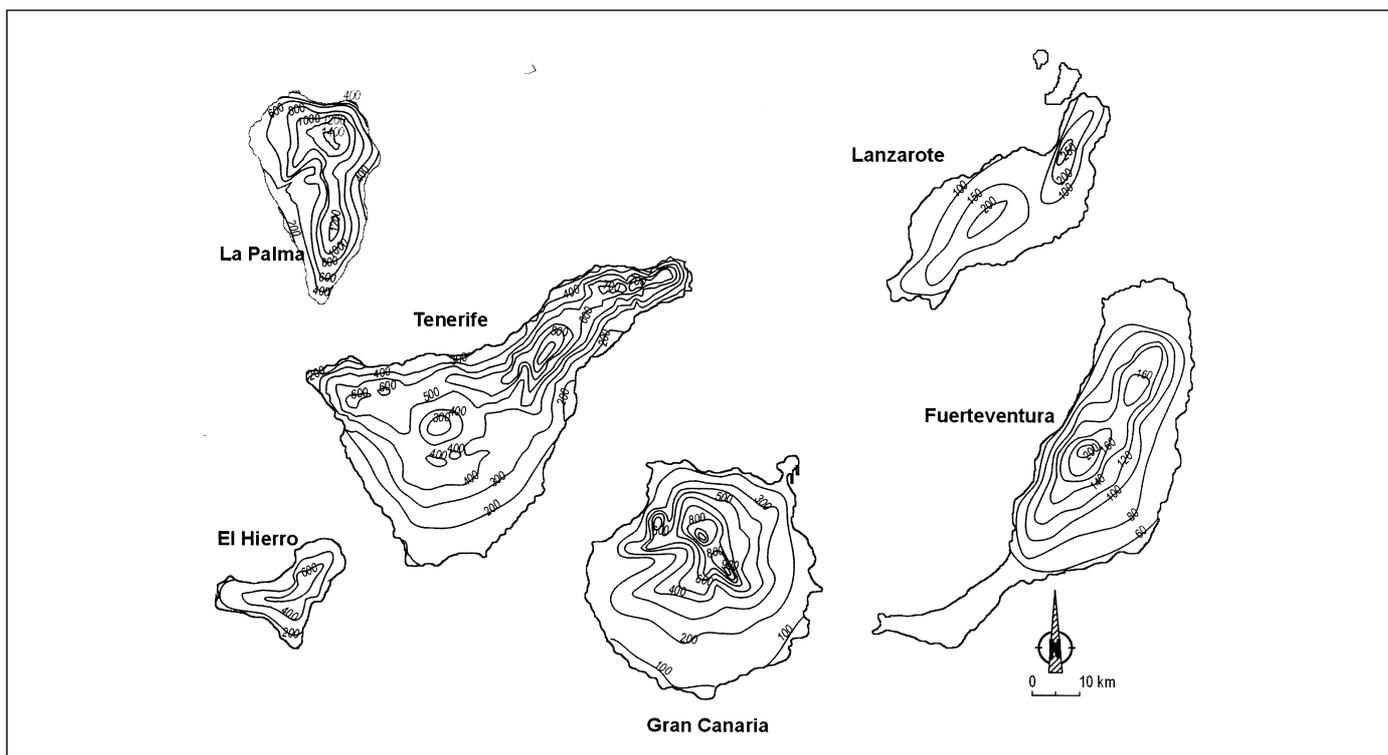


Fig. 2. Precipitaciones medias anuales en las islas mayores, en mm/año. Los datos de Tenerife, Gran Canaria, Fuerteventura, La Palma y El Hierro proceden de los respectivos Planes Hidrológicos Insulares, mientras que los de Lanzarote proceden de Marzol (1988). La posición relativa de las islas ha sido modificada para reagruparlas
 Fig. 2. Mean Average precipitation of the major islands (mm/year). Data of Tenerife, Gran Canaria, Fuerteventura, La Palma and El Hierro are from the island's water plans; data from Lanzarote are after Marzol (1988). The relative position of the islands have been modified in order to group them.

existen, así como en las laderas en 'sombra' pluviométrica de Gran Canaria y el Sur de Tenerife, no existen aguas en superficie, salvo nacientes locales de caudales ínfimos o que descargan acuíferos recargados en el interior de la isla, si ésta es alta. La recarga local a los acuíferos es agua salobre a causa de la intensa evaporación que sufre una precipitación escasa y que incorpora una importante aportación salina transportada por el viento desde la costa (Custodio, 1990). La salinidad del suelo limita las especies vegetales presentes y aumenta el aspecto árido, incluso en las zonas bajas costeras, donde hay descarga de agua subterránea y niveles freáticos someros, y suelen abundar los tarajes (tarayses), una planta de la familia del tamarix, que se agrupa en bosquetes o tarajales.

En profundidad pueden existir aguas subterráneas más salinas, bien sea por intrusión marina cuando se trata de materiales costeros permeables, o incluso por la existencia de agua marina relictas (de épocas pasadas) en un medio de baja permeabilidad y muy heterogéneo, como sucede en el macizo de

Betancuria, en el centro de Fuerteventura (Herrera y Custodio, 2002).

Desde el punto de vista de la vegetación y de los cultivos no regados, existen notables variaciones espaciales dentro de una misma isla, en función de los cambios geográficos y orográficos de la precipitación y su estacionalidad, de las características de los suelos -incluso de su ausencia en áreas volcánicas jóvenes o muy deflacionadas por el viento- y del aporte salino por vía atmosférica; así se establecen diferentes pisos de vegetación. Además hay que considerar la variabilidad temporal, tanto la estacional, con veranos notablemente secos en general, como la interanual, que se manifiesta en secuencias bien marcadas de años secos y húmedos (Figura 3). Si bien es posible que además se pueda estar produciendo una tendencia regional a la disminución pluviométrica acorde con el entorno geográfico continental, no es un hecho seguro ni cuantificado.

En numerosas zonas altas, y también de forma más moderada en otras de menor elevación, la presencia del rocío nocturno (relente o relentada) puede

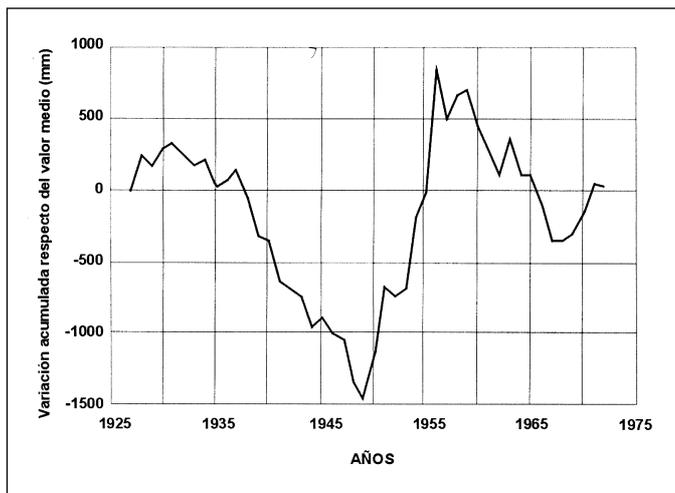


Fig. 3. Variación acumulada de la precipitación respecto a la media para el período 1927-1967 para la estación de Lomo Aljorradero, situada al NE de la isla de Gran Canaria (tomado de SPA-15, 1975), a 1075 m de altitud y con una precipitación media de 625 mm/a. Se aprecian los grandes ciclos secos y húmedos, que juegan un importante papel local. En la actualidad se está en un ciclo de tendencia húmeda

Fig. 3. Accumulative variation of precipitation relative to the mean value for the period 1927-1967, for the station of Lomo Aljorradero, in NE Gran Canaria island (from SPA-15, 1975), at an elevation of 1075 m and a mean precipitation of 625 mm/year. The large scale dry and wet periods can be seen; they have an important local role. Currently there is a more or less wet period

tener cierta importancia para la vegetación, sobre todo la niebla condensante que se produce con frecuencia en ciertas zonas altas, de forma que la vegetación que favorece la interceptación de la niebla se mantiene gracias a la misma, como sucede en parte con los pinares y con el bosque de laurisilva, que es una asociación particular de especies vegetales relictas propias de Canarias. La generación de recursos de agua dulce superficiales o subterráneos atribuible a esta condensación no parece significativo, pero el efecto en la vegetación sí es importante.

De una sociedad con poca demanda a una economía dependiente del agua

Las sociedades canarias prehistóricas eran poco numerosas y con necesidades hídricas muy pequeñas, atendibles con los recursos naturales. Tras la incorporación al Reino de Castilla a finales del siglo XV empiezan los asentamientos estables y el crecimiento de población venida de Europa y autóctona, lo que se traduce en la introducción de la agricultura, en

parte de regadío, como es el caso de la caña de azúcar. Los recursos de agua se obtenían del aprovechamiento de manantiales (nacientes) y cursos de agua, que se atribuyeron (repartieron) a los terratenientes por concesión real (heredamientos) (Nieto, 1969). Las obras que se construyeron eran principalmente para captar esas aguas y transportarlas, y también para mover algunos molinos, sobre todo en Gran Canaria (Díaz Rodríguez, 1988). Los productos cultivados y el ganado se utilizaban para consumo interno y para avituallamiento de los barcos que hacían las rutas hacia América y África, aunque también tuvo cierta importancia creciente el envío de azúcar hacia la Península Ibérica. Incluso en las áridas Lanzarote y Fuerteventura eran utilizados los recursos de agua localmente disponibles -dada la escasa población-aunque recurriendo además a algunos pozos en las formaciones aluviales costeras, y a construcciones más sofisticadas para captar y almacenar las escasas lluvias y escorrentías mediante aljibes y maretas. Estas últimas consisten en la combinación de una ladera acondicionada para que se produzca ocasionalmente escorrentía, con un gran depósito de sedimentación y almacenamiento del agua, en principio comunal, y que podía estar cubierto (Figura 4). Para obtener cultivos se introdujeron pequeñas obras en los barrancos de modo a crear retenciones de sólidos y de agua en épocas de lluvia (gavias y nateros). Obras similares existen en Monegros (Aragón) y Almería, y probablemente están asociadas a las antiguas culturas Ibera y Bereber. También son característicos los cultivos en 'enarenados'. Se trata de suelos cubiertos natural o artificialmente con una capa de un material de baja retención del agua de precipitación, lo que permite su acumulación en el suelo subyacente y evita su evaporación directa. Así las plantas cultivadas disponen de humedad para su ciclo vegetativo. En Lanzarote la 'arena' es lapilli (picón) volcánico negro muy reciente, que se renueva periódicamente si está colocado artificialmente. En La Geria (Lanzarote) se cultivan vides e higueras enanas en áreas cubiertas por picón de erupciones recientes, en el interior de pequeñas excavaciones para permitir que la planta llegue al suelo subyacente y al tiempo queden protegidas del viento directo (Figura 4).

Dada la escasez de terreno llano cultivable a causa de las acentuadas pendientes del terreno en las zonas más húmedas, se fueron aterrazando las laderas de forma espectacular. Pero se trataba esencialmente de cultivos no regados. El aterrazamiento puede favorecer la recarga de los acuíferos. Los cultivos en las zonas áridas costeras, donde es más fácil el asentamiento humano, dependían de la disposición de caudales de agua procedentes del interior de la isla,

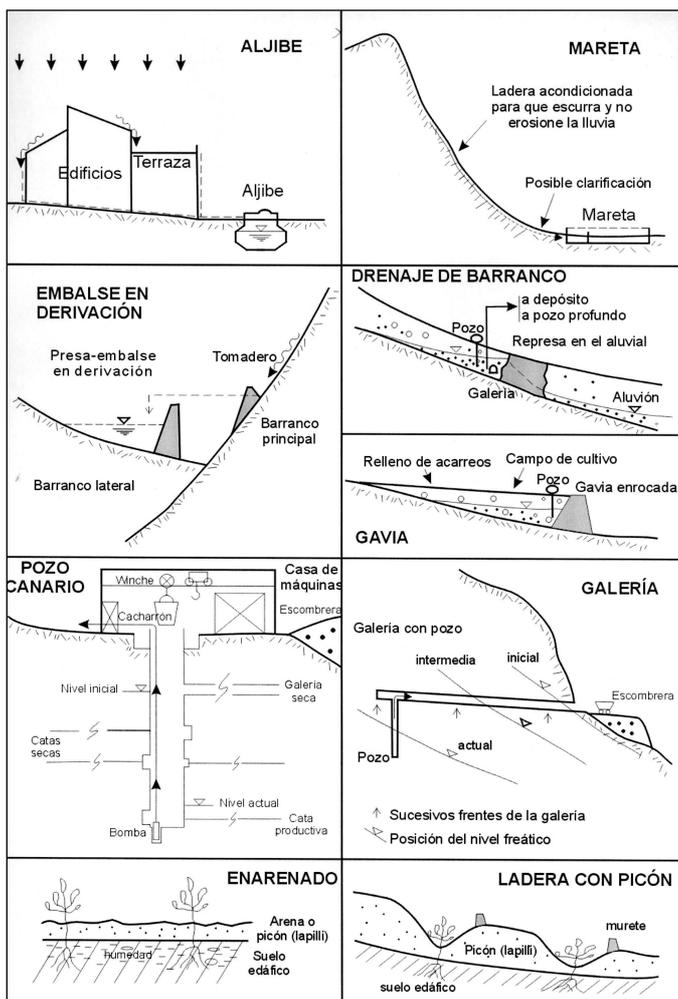


Fig. 4. Esquemas de algunas formas de aprovechamiento de aguas en Canarias. Incluye la captación de aguas de escorrentía de lluvia (aljibes, maretas, embalses en derivación y gavias), de aguas subterráneas (pozos, galerías y aluviales someros), y de aprovechamiento de la humedad edáfica de lluvia para cultivos en enarenados

Fig. 4. Cartoons showing different forms to obtain water in the Canarias. They show storm runoff interception (cisterns, slope flow retention, derived reservoirs and wall-dams), groundwater extraction (shaft wells, galleries and shallow alluvial formations), and use of pedologic soil humidity from rainfall for crops (sand cover)

transportados por canales, algunos de los cuales subsisten y tienen trazados espectaculares y sorprendentes.

El panorama descrito, aunque en progresiva evolución y mejora, no cambió esencialmente hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando la población creció tanto endógenamente como por emigración, a pesar de que ya existía una fuerte corriente migrato-

ria hacia América. La demanda de avituallamiento creció mucho al crecer el tráfico marítimo, que utilizaba algunos puertos Canarios como lugar de paso obligado. También se fueron abriendo buenas perspectivas de inicio de exportación de productos agrícolas isleños poco perecederos. Esta evolución creciente se aceleró, en especial en el último tercio del siglo XX, y continúa hasta la actualidad. El crecimiento de la población viene condicionado por varios factores: el cese de la emigración, un aumento de la inmigración peninsular, el gran auge que ha tomado el tráfico aéreo, el desarrollo de elementos de los sectores industrial y de servicios, tanto internos como de cara al exterior, la obtención de productos agrícolas de temporada o especiales, con un buen mercado en Europa y bien establecidas vías de comercialización, y sobre todo el establecimiento de una poderosa industria turística sostenida a lo largo de la mayor parte del año, que es una gran diferencia con buena parte de la Península Ibérica. El turismo supone del orden de 350 000 plazas, atendidas por unos 100 000 empleos fijos y semifijos de carácter directo, y quizás hasta el doble si se consideran los indirectos.

Esta evolución ha seguido diferentes etapas, desde el cultivo de la cochinilla como colorante a principios del siglo XX, a la introducción intensiva de la platanera, y finalmente de cultivos forzados en umbráculos e invernaderos, tanto en suelos naturales como recubiertos (enarenados), o creados artificialmente por acarreo de tierras (sorribas), y cultivos hidropónicos. Estos cambios no han sido iguales en todas las islas ni se han producido al mismo tiempo. Existe mayor arraigo popular en cuanto a la producción platanera en las islas occidentales. También las fuerzas sociales que han inducido los cambios han sido distintas de una isla a otra. Sin embargo en los últimos 20 años se han producido distorsiones atribuibles a la política agraria de subvenciones de la Comunidad Europea, y no precisamente siguiendo lo que parece que sería el camino mejor bajo el punto de vista hídrico y de economía regional, como ya demostraba el estudio MAC-21, realizado en el entorno de 1980, y que ha quedado mayormente inédito. Así la deseable progresiva reducción de la superficie de cultivo platanero en Gran Canaria se ha cambiado recientemente por un nuevo incremento en algunas áreas.

Es evidente que estos 150 años de cambio poblacional acelerado y de actividad económica, con una componente exportadora importante y una decantación marcada hacia el turismo, han trastocado profundamente el panorama hídrico. Se han tenido que realizar actuaciones de repercusiones profundas y cuyo efecto se prolongará un largo tiempo. Basta

considerar que la demanda actual total de agua es del orden de 450 hm³/año (Roque, 1997) frente a una producción natural intrainsular de recursos de agua en épocas precedentes al cambio social que se estima groseramente que era del orden de 90 hm³/a, en su mayor parte concentrada en Gran Canaria, Tenerife y La Palma. Esta diferencia es la que permite decir que la economía canaria es en buena parte una economía con una notable base hídrica en condiciones de escasez.

Comparando con la España Peninsular, donde se puede disponer de 1100 m³/hab/año, Canarias sólo dispone de 300 m³/hab/año (Fernández Bethencourt, 2001).

Adaptación a la escasez de recursos hídricos

La consecución del agua necesaria ha adoptado y adopta en Canarias muy diversas formas, de acuerdo con las muy diversas circunstancias. La figura 4 muestra una serie de esas características ya comentadas o que se desarrollan en los párrafos que siguen. Se tiene un frecuente elemento común, que es la práctica ausencia de agua superficial o incluso subterránea somera en muchos lugares. Esto sucede incluso en áreas de pluviometría elevada, a causa de la elevada permeabilidad del suelo y de las formaciones geológicas de recubrimiento. En tanto que no se ha dispuesto de distribución por tubería desde obras de captación relativamente alejadas, para el abastecimiento rural y urbano se ha recurrido a aljibes individuales o comunales, y en su caso a maretas. Estas son obras frecuentes, tanto en las islas áridas de Lanzarote y Fuerteventura como en El Hierro, que es una isla con pluviometría relativamente alta pero recubierta de terrenos muy permeables. Actualmente la mayoría de esos aljibes están fuera de servicio e incluso desaparecidos.

La captación de nacientes requiere obras en el lugar de afloramiento y su conducción hasta el destino. Las obras en el lugar de afloramiento del agua inicialmente se limitaban a recoger el agua que manaba del terreno, con frecuencia de forma más o menos extendida. Pero la experiencia fue mostrando que en muchos casos la eficiencia de captación del agua aumentaba excavando en la roca una cavidad para concentrar el flujo. El caudal podía aumentar de nuevo al profundizar la cavidad, aunque a veces de forma transitoria. Así se fueron profundizando (extendiendo) esas obras para mantener los caudales obtenidos inicialmente. Así se llega a las obras actuales, dominantes en Tenerife y La Palma, aunque también las hay en otras islas. Se trata de galerías (túneles) de

agua, simples o ramificadas, con o sin galerías y sondeos laterales, y de hasta 6 km de penetración. Las más recientes pueden haberse iniciado incluso sin que existieran nacientes, buscando intersectar en profundidad al nivel freático. Se han constituido preferentemente bajo terrenos públicos y comunales, donde no hace falta el permiso de diversos propietarios privados del terreno, sino sólo la correspondiente autorización administrativa. La longitud total de galerías de agua (unas 1600) puede llegar a superar los 2000 km lineales. Buena parte de estas galerías son obras financiadas por acciones de un amplio conjunto de inversores agrupados en Comunidades de agua, que adquieren el derecho a la parte proporcional del agua captada, para su uso propio o para cesión a terceros mediante un precio de transacción acordado (Hoyos-Limón, 1997; Fernández Bethencourt, 2001).

Uno de los graves inconvenientes de las galerías es que la producción de agua es continua y ésta no se aprovecha en épocas de baja demanda, por ejemplo cuando no se requiere regar los cultivos. Eso quiere decir que el drenaje preferente de recursos de agua subterránea no renovable se pierde al mar sin aprovechamiento, a menos que se instalen obras adicionales de almacenamiento temporal. La construcción de estas obras ha sido abordada en Tenerife por la Administración del agua (Plan de Balsas del Norte de Tenerife), no sin cierta oposición de los 'aguatenientes' a causa del posible descenso de los precios de venta del agua en época de gran demanda, cuando se pone a disposición el agua almacenada. Bajo un punto de vista económico de la explotación puede explicarse la conveniencia de desechar el agua no demandada si la tasa de interés del dinero es alta, pero no lo es socialmente si se consideran las externalidades derivadas de la extracción de reservas de agua o del descenso adicional de niveles freáticos.

Otro de los inconvenientes de numerosas galerías es el elevado costo de las obras de excavación y de las intervenciones para mantenerlas operativas, y sobre todo para mantener los caudales. A la dificultad económica para abordar la apertura de una nueva galería que tiene que atravesar en general una gran longitud ya drenada, hay que sumar el riesgo de acabar captando aguas calientes, bicarbonatadas sódicas y relativamente mineralizadas al alcanzar el núcleo de baja permeabilidad del edificio volcánico, como en Tenerife, donde además el agua de algunas galerías ha de ser tratada previamente a su uso doméstico para eliminar su alto contenido en flúor. Según la posición y altitud de la galería existe un límite físico y/o hidrodinámico a su prolongación para mantener los caudales (véase la figura 5), y de hecho

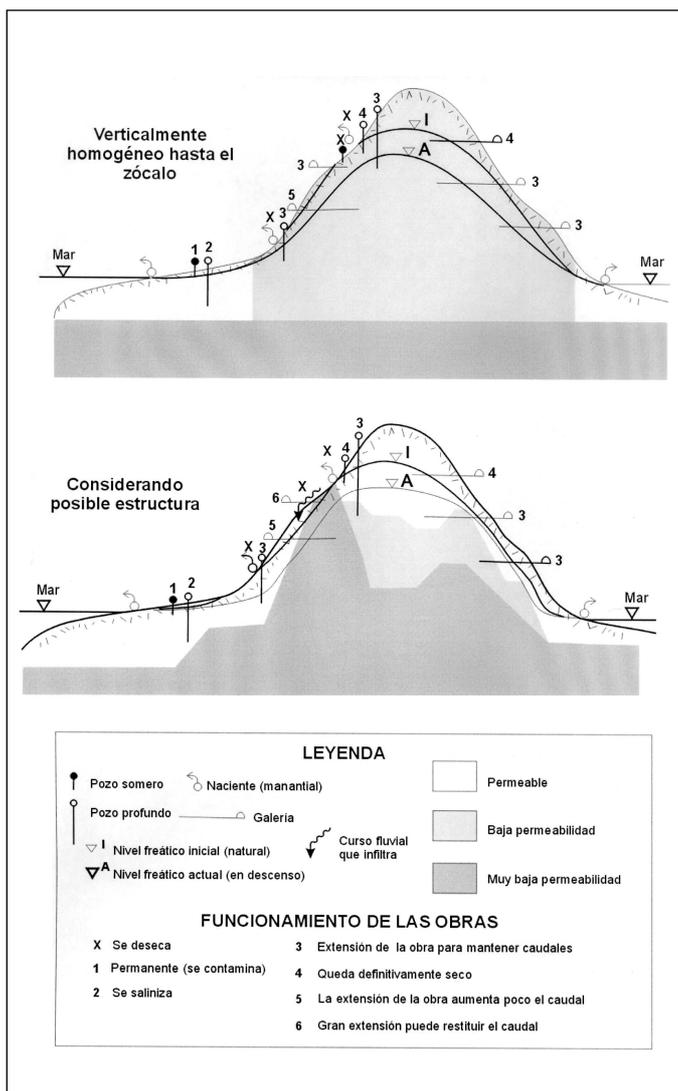


Fig. 5. Esquemas de funcionamiento hídrico natural y con explotación intensiva en Canarias. Corresponde a una isla alta y el corte está inspirado en Gran Canaria. La figura superior muestra el caso de un núcleo de baja permeabilidad sobre un substrato muy poco permeable y con una periferia de materiales volcánicos jóvenes o sedimentos. La figura inferior trata de introducir la existencia de una cierta estructura volcánica interna con un zócalo de muy baja permeabilidad, caldera central en parte deslizada, con relleno materiales de baja permeabilidad y un recubrimiento de materiales volcánicos jóvenes intra y extracaldera. En ambos casos los gradientes piezométricos costeros varían poco entre la situación natural inicial y la actual de explotación intensiva en "medianías" y "cumbres"

Fig. 5. Schemes of groundwater flow under natural and under intensive exploitation in Gran Canaria. The upper figure shows the case in which a low permeability core resting on an almost impermeable bed rock and covered by young volcanics and sediments. The lower figure intends to show the effect of an internal volcanic structure with a bedrock of very low permeability that forms a partly slided down central caldera; infilling materials have low permeability with a cover of intra- and extra-caldera young volcanics. In both case central piezometric gradients change is small from the initial natural situation to the current migration under intensive exploitation at medium and high elevations

algunas galerías de Tenerife están ya totalmente por encima del nivel freático local (Falkland y Custodio, 1991).

En unos pocos casos se ha intentado abordar el control de la cantidad de agua drenada por una galería estableciendo compuertas de cierre en su interior, dotadas de válvulas regulables. Esas compuertas deben poder resistir grandes esfuerzos y no ser contorneadas por el agua, por ejemplo apoyándolas sobre diques de roca sana. Hay ejemplos recientes en las islas de El Hierro, La Palma y Tenerife, pero en la mayoría de los casos no son viables a menos que exista un muy buen planteamiento de la obra y circunstancias favorables. En todo caso el coste es elevado.

Aparte de los pozos domésticos o comunales en áreas bajas o llanas, con extracción manual, frecuentes en el pasado y aún actualmente en algunos lugares, la captación de agua subterránea con caudales elevados para atender a la reciente escasez de agua, principalmente para usos agrícolas de regadío, ha estado supeditada a la posibilidad de extracción del agua. Desde la segunda mitad del siglo XIX se han construido numerosos pozos en Gran Canaria y La Palma, y también en áreas costeras de Tenerife, con un total de unos 2300 pozos. En Fuerteventura el Instituto Geológico y Minero de España censó en 1990 unos 1700 pozos, de los cuales estaban en funcionamiento unos 400. Al ser el pozo una obra predominantemente vertical, de acuerdo con la legislación vigente sólo se requería el permiso del propietario del terreno en que se ubicaba, salvo que existieran extensas obras secundarias horizontales. Por eso estos pozos son más frecuentes en Gran Canaria y en el centro de La Palma, donde hay menos superficie de terrenos públicos. En teoría se requiere también el permiso de los terratenientes bajo cuyo terreno se extienden las obras horizontales perforadas desde el interior del pozo; sin embargo en la práctica estas obras solían realizarse de manera semiclandestina.

Los primeros pozos, los llamados 'pozos canarios', fueron y continúan siendo de gran diámetro -unos tres metros- excavados por métodos mineros, hasta rebasar un poco el nivel freático. Ese gran diámetro permite cortar fisuras y formaciones con agua, y excavar en el fondo galerías horizontales. Más recientemente se perforan drenes horizontales -catas- con maquinaria adaptada localmente, hasta longitudes de muchas decenas de metros y en ocasiones hasta 500 m. Todo ello supone un gran esfuerzo y riesgo humano, sobre todo considerado que se llega a trabajar a más de 500 m de profundidad en algunos casos. El gran diámetro del pozo era necesario para el trabajo humano desde el interior de la obra y sólo permitía

penetraciones pequeñas bajo el nivel saturado, lo que solía requerir su extensión horizontal mediante galerías y catas. El diámetro necesario para instalar primero las norias movidas por animales era de hasta seis metros y luego al instalarse las bombas de pistón accionadas por vástago desde la máquina de vapor instalada en superficie disminuyó a los tres metros, que es el valor más común. Cuando tecnológicamente fue posible, dicho sistema de bombeo fue substituido por el sistema de bomba centrífuga aspirante -en general poco adecuada para grandes oscilaciones del nivel del agua- o más comúnmente una bomba centrífuga sumergida accionada mediante un eje vertical desde un cabezal movido por transmisión de correas, y luego por un motor eléctrico vertical en el cabezal (Fernández González, 1974). La energía procedía de un motor de combustión interna con transmisión por correas, en un principio, luego de un grupo electrógeno, y finalmente de la conexión a la red eléctrica. El sistema bomba-eje-motor se ha substituido por electrobombas sumergibles. Así las grandes naves primitivas para acoger el aparellaje de extracción y acceso al pozo, y para albergar los elementos elevadores y de reparación del sistema de extracción, han ido siendo substituidas por sencillas instalaciones eléctricas que no requieren mecanismos permanentes de montaje y desmontaje.

Dadas las características hidrodinámicas del agua subterránea en la mayoría de situaciones reales, aún sin que la extracción supere a la recarga, se asiste a un continuado descenso de los niveles freáticos, variable de un lugar a otro, que supone una disminución de las reservas de agua subterránea, y que conlleva a una progresiva profundización de los pozos y reposición de las obras complementarias de drenaje horizontal (véase la figura 4). Eso hace que el mantenimiento de la capacidad de captación sea costoso, lo cual, unido a la frecuente elevada altura de bombeo, hace que el agua captada resulte cara.

En las últimas décadas se han ido introduciendo los sondeos perforados con máquina, entre 250 y 450 mm de diámetro y gran penetración bajo el nivel freático, para aumentar la probabilidad de interceptar capas y fisuras que produzcan agua subterránea. Unos se realizan como nuevas perforaciones y otros se hacen para extender pozos de gran diámetro ya existentes. Su implantación ha estado supeditada a la existencia de una técnica de perforación adecuada: rápida, relativamente económica, sin necesidad de agua de perforación, con buena extracción de detritus. Estas condiciones las cumple razonablemente la rotoperusión con martillo de fondo y aire, aunque el método no está exento de problemas. En algunos casos la percusión con cable ha dado inicialmente

resultados aceptables para profundidades moderadas y medias cuando se utiliza un trépano adecuado, pero se avanza muy lentamente.

La proliferación y extensión de las obras de captación de agua subterránea, tanto pozos como galerías, y también la construcción de obras civiles tales como túneles, excavaciones y espacios subterráneos, ha dado lugar por un lado a interferencias locales y por otro a efectos generalizados de descenso de los niveles del agua. Eso ha promovido una importante intervención pública, unas veces eficaz y otras desvirtuada técnica y administrativamente, y a una importante litigiosidad, que puede conllevar importantes compensaciones económicas. En cualquier caso el agua subterránea captada es cara y progresivamente más costosa (Fernández Bethencourt, 2001; Aguilera, 2001).

El aprovechamiento de las aguas de escorrentía se ha considerado un objetivo permanente. Lo que naturalmente eran aguas fluyentes continuas en buena medida han desaparecido hace ya largo tiempo -con la excepción de dos cursos, uno en La Palma y otro en La Gomera- a causa de la desaparición de los manantiales que los alimentaban por el descenso generalizado de niveles freáticos. Hoy esos caudales circulan por canales y tuberías tras ser captados por los pozos y galerías. Los aprovechamientos se destinan a la captación de la escorrentía ocasional de tormenta. Así son muy frecuentes los 'tomaderos', que derivan el agua circulante ocasional hacia depósitos, aljibes y estanques, e incluso hacia los pozos profundos de gran diámetro, y por lo tanto con buena capacidad de almacenamiento temporal. La relativamente alta permeabilidad del terreno en buena parte del territorio insular conlleva que no sea viable la construcción de embalses mediante presas en los cauces o en derivación. Gran Canaria constituye una notable excepción, con 80 presas de más de 15 m de altura, si bien las elevadas pendientes permiten sólo lograr pequeñas capacidades. En este caso se aprovecha, y en menor grado también en La Gomera, el afloramiento por erosión de rocas muy alteradas térmicamente o de rocas poco permeables pertenecientes al 'núcleo volcánico' de la isla, en áreas vegetadas y por lo tanto con una tasa de aterramiento moderada. En otros casos se han tenido tasas muy rápidas de aterramiento, o bien se ha combinado tradicionalmente pequeños represamientos y el aterramiento, como en Fuerteventura, para conseguir en clima árido pequeñas extensiones de terreno cultivable que se humectan ocasionalmente y que pueden almacenar algo de agua en sus sedimentos tras las escorrentías (véase la figura 4).

En todo este panorama, con aprovechamientos del

agua que suponen notables inversiones individuales o asociativas, los costes -o el precio de mercado- de la unidad de agua son elevados y estacionalmente variables, y la disponibilidad puede ser ocasional, por lo que el número de depósitos y estanques es muy elevado, casi uno por explotación agrícola. Incluso algunos disponen de cubierta para reducir la evaporación si el almacenamiento va a durar un tiempo dilatado.

El agua captada se distribuye a los socios proporcionalmente a la contribución económica (número de acciones) mediante partidores, algunos de los cuales son curiosas obras. En algunos casos, como sucede en el Sur de Tenerife (tanquillas de Aripe, por ejemplo), cada socio (comunero) dispone de una tubería propia para transportar el agua desde la 'tanquilla' a destino aguas abajo, dando lugar a conjuntos de cientos de tuberías en áreas con varios partidores, que sólo se explica por la desconfianza mutua y el individualismo exacerbado de los 'aguatenientes'.

Todo este panorama conlleva la existencia de verdaderos 'mercados del agua', zonales o insulares. Los 'mercados del agua' (Domínguez Vila, 1996) suponen no sólo la existencia de reservas almacenadas y caudales disponibles en los lugares concretos donde están, sino un modo de transporte a donde se requiere el agua, bien sea un campo agrícola, una población o un establecimiento turístico. Esta es la tarea de los distribuidores de agua, apoyados en una extensa red de canales y tuberías, con depósitos asociados, de modo que el agua acordada se recibe en el lugar deseado -no necesariamente la misma pero sí el mismo volumen- en el tiempo requerido, pagando el servicio con una fracción de esa misma agua. Aquí no intervienen aspectos de calidad y se supone que todas las aguas son dulces y mutuamente sustituibles, aunque en la actualidad en muchos casos no sucede así. La progresiva captación de aguas bicarbonatadas sódicas, de salinidad elevada, o la utilización de aguas depuradas para reutilización es una complicación reciente añadida, que está afectando a ciertos sectores de los 'mercados del agua', además con entrada de otros actores públicos y privados. Los resultados son escasamente conocidos. Estos 'mercados del agua' son de escasa transparencia y se dispone de poca información detallada sobre su funcionamiento real y resultados, aunque hay datos sobre los precios de transacción (Hoyos-Limón y Puga, 2000).

Cabe constatar que las inversiones públicas para obtener agua han sido tradicionalmente pequeñas en relación a la importancia y trascendencia del problema, y su peso en la economía local. Se puede explicar en parte por ser los recursos obtenibles 'privados'

o de uso privativo según la legislación vigente, a pesar de que se trata de un bien de dominio público según la Ley de Aguas Española de 1985, y de la Ley específica para Canarias de 1990. Recientemente esas inversiones son mayores pero buena parte de la captación y utilización de las aguas subterráneas, el recurso hídrico principal, sigue siendo privado y las inversiones privadas para su consecución y mantenimiento han estado progresivamente desincentivadas.

Hasta aquí se ha expuesto la adaptación clásica a la escasez de recursos hídricos. Actualmente hay nuevos elementos en el panorama. Ya en la década de 1960 se inició en Arrecife de Lanzarote la desalinización de agua marina para abastecimiento público, mediante plantas de destilación, que luego se extendieron a Las Palmas de Gran Canaria y a Puerto del Rosario (Fuerteventura). Los avances tecnológicos y la versatilidad han decantado la técnica de desalinización hacia la osmosis inversa -actualmente con recuperación de energía -tanto para aguas marinas como salobres subterráneas en áreas costeras, y ocasionalmente a la electrodiálisis para aguas salobres. El destino del agua producida es mayoritariamente para abastecimiento urbano e industrial, y para suministro a áreas turísticas, pero la aplicación en agricultura tiene también cierta relevancia creciente, incluso con plantas individuales alimentadas por pozos locales que extraen agua salobre (Medina, 2000). Los costes resultan ya comparables a los del agua producida y puesta a disposición de forma más convencional, aunque hay distorsiones a considerar, como puede ser la subvención energética y sobre todo la construcción pública de salmueroductos para evacuar la salmuera residual, o las externalidades derivadas de la evacuación indebida y a veces ilegal de la misma. Hay ahora unas 300 plantas de desalinización, desde las pequeñas unidades de pocos m³/día a las grandes de 30 000 m³/día (Tabla 1). Es de suponer que su número siga creciendo, pero la política crediticia, energética y medioambiental, la actividad económica y las decisiones políticas son factores que determinan las inversiones en cantidad y en su destino, así como la participación del sector privado por un lado, y por otro las lógicas y necesarias precauciones ambientales a introducir para tratar de prevenir o corregir las externalidades que se producen.

Las aguas residuales urbanas de las grandes concentraciones de población residente y turística son un recurso de agua que tras adecuado tratamiento puede ser reutilizado, principalmente para riego. Existen notables realizaciones para riegos de jardines urbanos en Las Palmas de Gran Canaria y Santa Cruz de Tenerife, y en el Sur de Gran Canaria (zonas turísticas de El Inglés y Maspalomas), y para riego de

campos de golf y de cultivos tolerantes en suelos apropiados, también de esa misma área. No obstante hay circunstancias limitantes, además de las de garantía de tratamiento, como son las que se derivan de su frecuente elevada salinidad. Su aplicación puede llevar a la contaminación de los acuíferos subyacentes -en especial si se bombean hacia el interior de la isla- y a una degradación poco reversible de suelos no muy permeables. El mejor aprovechamiento de este potencial hídrico requiere actuaciones sociales diversas: por un lado se necesita un esfuerzo municipal para reducir las fuentes de contaminación salina a las aguas del alcantarillado, en especial el drenaje de sótanos, la incorporación de aguas salinas usadas para refrigeración y otros usos, y la entrada de agua salina del subsuelo en la red de colectores; por otro lado se puede necesitar reducir la salinidad previa a la distribución mediante procesos de membranas. La aplicación industrial de estos procesos, si bien están ensayados en laboratorio en condiciones técnicamente fiables y económicamente contrastadas, es aún preliminar, aunque ya funcionan plantas en Tenerife y Gran Canaria (Gómez *et al*, 1997), constituyendo un campo abierto a la investigación aplicada, al desarrollo industrial y a la innovación.

La mayor proporción de los recursos hídricos en el Archipiélago siguen siendo subterráneos, excepto en Lanzarote y Fuerteventura que dependen casi exclusi-

vamente del agua desalinizada para el suministro. Sin embargo, en el total de las islas las aguas subterráneas constituyen casi el 90% del total de recursos (Tabla 2). Sin embargo, se ha observado un progresivo aunque tímido descenso de la utilización de aguas subterráneas, fundamentalmente en las islas de Tenerife y Gran Canaria.

Como consideración final hay que mencionar que aún hoy la población urbana suele confiar poco en la seguridad y salubridad del suministro urbano. Aún cuando actualmente los cortes en el suministro de agua en grandes capitales no son comunes -pero tampoco raros-, la mentalidad imperante sigue recordando épocas pasadas. Por eso buena parte de los domicilios disponen de aljibes comunitarios o de cisternas (depósitos) individuales, cuya protección sanitaria es por lo menos dudosa. Este hecho y la creencia popular en la falta de garantía de la calidad del agua del suministro, y la memoria de pasados problemas -reales o supuestos- hace que esté muy generalizado el uso de agua envasada para bebida y para cocinar, aún en sectores económicamente débiles. Así existe un alto consumo de agua envasada, que va desde aguas de mesa hasta garrafas familiares. Por otro lado es relativamente frecuente que en los domicilios se conserven envases de 4 a 10 litros rellenos con agua de la red en previsión de posibles cortes de suministro y eventualidades.

ISLA	Número de plantas		Producción (m ³ /día)	
	Agua de mar	Agua de pozo	Agua de mar	Agua de pozo
Tenerife	9	19	36564	40019
Fuerteventura	45	20	52900	8790
Gran Canaria	35	98	268800	88718
Lanzarote	67	-	85135	-
El Hierro	3	-	2300	-
TOTAL	159	137	445699	137527

Tabla 1. Plantas desalinizadoras existentes en Canarias en 2001 según el censo del Centro Canario del Agua (<http://www.fcca.es/>)
 Tabla 1. Desalination plans existing in the Canarias in 2001 after the inventory of the Canarian Centre for Water (<http://www.fcca.es/>)

Año	RECURSOS DE AGUA UTILIZADOS (hm ³ · año ⁻¹)			Total
	Subterráneos	Superficiales	No convencionales	
1973	459	25	7	491
1978	450	19	16	485
1986	411	20	21	452
1991	393	21	34	448
1993	386	21	37	444

Tabla 2. Distribución de los recursos hídricos aprovechados en el Archipiélago Canario (Roque, 1997)
 Tabla 2. Distribution of exploited water resources in the Canarian Archipelago (Roque, 1997)

Sustentabilidad de las actuaciones hídricas: Canarias exportadora de agua

La sustentabilidad no sólo es una cuestión de los caudales de agua puestos en juego sino de la demanda (Custodio 2002a; Llamas y Custodio 2002). Ante un marco insular en que cada isla debe resolver aisladamente sus problemas hídricos, el crecimiento de la demanda de agua que ha tenido lugar en los últimos 50 años, que económica y políticamente arrastra a una oferta también creciente, contiene componentes claros que apuntan hacia la no sustentabilidad del recurso y a crecientes afecciones ambientales.

La actual explotación de agua subterránea no es sustentable a causa de que se están consumiendo reservas de agua, aunque sin que necesariamente la extracción supere a la recarga (Falkland y Custodio, 1991). Este hecho se produce porque parte del agua subterránea sigue saliendo al mar o degradándose por mezcla con agua salina en los acuíferos costeros, como muestra la figura 5 y se resume en el cuadro 1. Para acercarse a un régimen estacionario bajo las actuales extracciones muy posiblemente se requieren mayores descensos freáticos. Esto, además de plantear algunas dudas de carácter hidrogeológico si se considera la estructura interna de cada isla, supone inversiones nuevas muy cuantiosas para la captación, y costes de obtención del agua muy elevados. De ahí que la extracción deba disminuir en busca de una situación estable y socialmente aceptable, que actualmente es difícil de evaluar ante la falta de modelos conceptuales comprobados a los que aplicar modelación numérica.

Se requieren esfuerzos de observación, medida, investigación y estudio, que no sólo no se están abordando suficientemente, sino que han disminuido desde que se han elaborado los planes hidrológicos insulares, y además falta el esfuerzo acumulado de lo que se estima que se debería haber hecho en este tiempo. Así es cada vez más difícil ponerse al día. Actualmente los esfuerzos se decantan preferentemente hacia otras fuentes de agua que cuantitativamente son menos importantes, más intensivas de capital y con mayor necesidad de tecnología exterior, en un contexto de conocimiento que se aprecia como desenfocado, poco realista, y que puede hacer la situación evolutiva menos sustentable. La desalinización y la reutilización son técnicas bien establecidas, aunque la segunda aún requiere investigación y desarrollo, y ambas una mayor y decidida contribución propia a la tecnología de plantas y de producción de componentes.

Esas técnicas son energéticamente intensivas, aunque también lo es actualmente la explotación de

aguas subterráneas profundas mediante pozos, en especial en áreas medias y altas. Sin embargo no hay producción energética propia en las islas salvo una creciente pero parcial contribución eolieléctrica, y unas posibilidades geotérmicas que son aún muy especulativas. Esto hace que el sistema de abastecimiento hídrico sea muy vulnerable a crisis energéticas y bloqueos exteriores.

Desde el lado de la demanda, la parte correspondiente al abastecimiento de la población puede ser estimada, considerando que la población residente sigue aumentando, y que las islas como destino turístico y cada vez más residencial de tercera edad es una realidad en el contexto de la Unión Europea. También puede ser asumida una demanda bastante baja para actividades industriales y que la actividad económica terciaria sea la vía futura principal de empleo. La parte más importante de la demanda sigue siendo la agricultura de regadío, de donde han de venir las principales reducciones de la demanda de agua en busca de la sustentabilidad social e hídrica. Eso conlleva mantener y primar aquellas actividades que fijen la población rural y favorezcan la ocupación territorial necesaria para la conservación del paisaje y del medio, permitiendo que esas personas accedan a un nivel de renta suficiente y atractivo, pero con un uso moderado de agua. Estas consideraciones ya formaban parte del estudio hidroeconómico MAC-21 realizado en el entorno de 1980, pero no han tenido la aceptación política y popular que merecen ya que privan las actuaciones a corto plazo, sin un adecuado marco a medio y largo plazo.

Este es un contexto política y administrativamente difícil, pero cuyo retraso sólo contribuye a hacer menos sustentable la situación actual. La solución requiere una amplia participación ciudadana y de los afectados, actuando desde instituciones adecuadas y no sujetas al oportunismo político.

La implantación y apoyo a cultivos de alta o relativamente alta demanda de agua con vistas a la exportación no parece una política agraria lógica ya que detrae agua de otros usos y además supone una transferencia de agua al exterior. Se trata de un agua que es escasa -en parte reservas multiseculares-, y subvencionada. Cada kg de producto agrícola de alta demanda de agua puesto en el mercado exterior -como el plátano- supone el consumo -la transferencia o exportación- de 200 a 400 litros de agua; de un agua que en muchos lugares cuesta de 0,3 a 0,6 €/m³, y que con las cargas económicas equivalentes a las de otros territorios de Europa pueden llegar a 0,4 a 0,8 €/m³, y eso sin considerar las importantes externalidades asociadas. La evolución deseable es hacia productos intensivos en mano de obra y no en agua

a) En estado natural

Valores medios multianuales $R - N - SM = 0$

R = recarga media por la precipitación (ocasionalmente por fusión de nieve).
 N = salida media por nacientes (manantiales) intransulares.
 SM = salida de agua dulce al mar (se supone estado estacionario en el acuífero costero).

Valores anuales $R + \Delta R - N - \Delta N - SM = \Delta S$
 $\Delta R - \Delta N = \Delta S$

ΔR = variación de la recarga respecto a la media a largo plazo.
 ΔN = variación de la descarga por nacientes intransulares, que es mayor a gran altura. Es sólo una fracción de ΔR .
 ΔS = variación del almacenamiento (reservas) de agua subterránea en la isla. Incluye el agua salada y salina que pueda existir en las áreas costeras.

b) En estado perturbado (sometido a explotación)

Para un año o período determinado $R' - N' - EX - SM^* + RR' + EM^* = \Delta S$

R' = recarga en el período (se supone un tránsito rápido por el medio no saturado).
 N' = salida por nacientes (disminuida o nula por el descenso de los niveles freáticos).
 EX = extracciones mediante pozos y galerías.
 SM* = salida al mar de agua dulce. Es similar a SM en el litoral no afectado por extracciones. El descenso de niveles intransular allí suele afectar poco a los gradientes piezométricos a lo largo de la costa.
 RR' = retorno de aguas de riego. Se produce principalmente en las zonas costeras. Es una fracción de EX, y puede incluir aguas de otras procedencias (superficiales, desalinizadas, reutilizadas).
 EM* = entradas de agua marina al sistema subterráneo costero. Puede ser hasta 40 veces la disminución de la salida al mar. EM* y SM* pueden corresponder a diferentes sectores de la costa y también pueden coexistir.
 $\Delta S'$ = variación del almacenamiento de agua en el sistema subterráneo de la isla.

Aplicación práctica. Modelación del flujo insular en el supuesto de no existir cambios verticales de permeabilidad hasta el supuesto zócalo insular. Valores medios en período, en hm³/año.

	TF – Tenerife (2000 km ²), 1972-1978					GC – Gran Canaria (1500 km ²), 1972-1980			
	R'	- N'	- EX	- SM*	+ RR'	+ EM*	= $\Delta S'$	$\Delta h(m)$	
TF-	240	0	210	220	70	0	-120	1,2	
GC-	100	0	110	60	25	5	-40	-0,5	

Δh es el valor medio el descenso freático para una porosidad drenable del 0.05. Si se distribuye de forma creciente hacia el centro, allí el descenso es unas tres veces mayor.

Cuadro 1. Balance hídrico subterráneo indicativo en una isla volcánica alta
 Cuadro 1. *Indicative groundwater balance in a high volcanic island*

ni en materias primas, lo que hace que la agricultura de regadío deba disminuir, aunque conservando el nivel estratégico y de estabilización de la ocupación humana del territorio antes mencionado.

Desarrollo, sociedad, demanda de agua, ciencia y tecnología, gestión y política

El agua es uno de los componentes fundamentales que intervienen necesariamente en la actividad humana, además de ser esencial para la vida y que

juega un papel básico en la Naturaleza y sus manifestaciones. Esta es la razón de sus complejas implicaciones en el devenir de la Humanidad, tanto en el día a día como en la planificación a largo plazo. Todo esto ha sido ya expuesto anteriormente con cierto detalle. Pero hay que verlo en el contexto de que la escasez de agua no es valor absoluto sino relativo a la actividad humana, que es la que genera la demanda. Tan natural y digno de valor es un paisaje verde y frondoso como la aridez del desierto, pero su capacidad de soportar actividad humana es muy diferente y bajo circunstancias muy diversas. Ahí juega un papel

esencial el ingenio humano, que a través del conocimiento científico genera una tecnología para resolver sus problemas de subsistencia, crecimiento, desarrollo económico y bienestar. Estos son procesos dinámicos, impulsados por las circunstancias y enfocados a las mismas. En ese dinamismo se producen desequilibrios temporales -crisis- que en la mayoría de casos encuentran solución científica y técnica, pero cuya eficacia y viabilidad debe encuadrarse en el contexto económico y social, y en directrices políticas realistas y de largo alcance. Esto es lo que conforma la viabilidad de las soluciones y su sustentabilidad. Para ello se requieren instituciones adecuadas y la eficaz participación ciudadana y de los que tienen interés en el agua -incluyendo la protección y conservación del medio ambiente- dentro de un marco legal suficiente y efectivamente aplicado.

Todas estas consideraciones teóricas, que son válidas para cualquier lugar, en el caso de las Islas Canarias se concretan en un marco peculiar relativamente complejo, y además muy vinculado a las instituciones del resto del país en el marco de múltiples relaciones bilaterales o de dependencia funcional. No es objetivo de este trabajo describir las instituciones canarias existentes, que además han ido cambiando a lo largo del tiempo. No obstante, como regla general, y en contraste con el valor e importancia del agua, existe un claro déficit institucional público. Actualmente la administración pública del agua la ejercen en cada isla los Consejos Insulares de Aguas (CIA). Se trata de entidades con personalidad jurídica que dependen de los respectivos Cabildos Insulares (Administración Insular) y que gestionan la Ley de Aguas de Canarias de 1990 y subsidiariamente la Ley de Aguas española de 1985 que la enmarca, el Plan Hidrológico de cada isla y los recursos económicos atribuidos, y están regidos por un Consejo en el que en teoría están suficientemente representados todos los intereses y usuarios del agua, pero que en la práctica está dominado por la Administración Pública y los poderes políticos. Para su funcionamiento sólo los CIA de Gran Canaria y Tenerife tienen oficinas de cierto tamaño, capacidad y dotación humana, aunque las funciones son predominantemente administrativas y bajo un excesivo intervencionismo político. Únicamente el CIA de Tenerife dispone de un reducido grupo de personal técnico en hidrología. Las islas principales tienen ya elaborado su primer Plan Hidrológico (CIAGC, 1995; PHITF, 1989, 1995; Fernández-Bethencourt, 1997; Guerra, 1997; AIH, 1997) y en las otras están recién establecidos o en curso de redacción final.

Las inversiones generales en recursos de agua con medios canarios o transferidos desde la

Administración General del Estado las administra la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias, por sí misma o de acuerdo con los CIA. Mayoritariamente se trata de recursos económicos destinados a grandes obras hidráulicas de aguas superficiales, desalinización, reutilización o saneamiento, con poca dedicación al estudio, información y gestión del agua subterránea.

La escasa participación ciudadana, incipiente desarrollo de los centros de investigación y estudio universitarios y públicos, y la notable interferencia política en recursos humanos y orientaciones no son factores favorables a una buena y eficaz actuación. Incluso se puede argumentar que en décadas pasadas la situación fue mejor, aunque es una observación no segura ni avalada por estudios comparativos.

El Instituto Geológico y Minero de España mantiene una pequeña oficina para apoyo. Es insuficiente y no está sostenida por convenios firmes de colaboración o contratos-programa. La labor en la Universidad es aún incipiente y también está en buena parte dirigida hacia otras fuentes de agua, para las que hay más recursos económicos e interés público, en parte debido a que no existe docencia específica de las especialidades de hidrogeología, hidrología o recursos hídricos sino de forma marginal. Tampoco las instituciones oficiales de investigación y desarrollo tecnológico tienen efectivos y planes al respecto si no es en recursos hídricos adicionales. Así, la hidrogeología queda en un plano muy inferior al que corresponde, y ello a pesar del avance producido en la década de 1970 con el proyecto SPA-15 (1975). Actualmente hay carencia hasta de redes básicas hidrogeológicas, aunque hay que reconocer que éstas requieren esfuerzos notables dadas las características del medio. Si se dedicase el 10% del valor de mercado del agua producida a su vigilancia y control, y a inversiones en Ciencia y Tecnología, el panorama podría cambiar notoriamente (Custodio, 1997b).

El mediano panorama público, y en cierto modo cierto retroceso relativo al crecimiento de la problemática, pudo estar compensado en el pasado por el ingenio de las instituciones privadas y de los ciudadanos, en cuanto a medios para la captación y uso del agua. De hecho buena parte de los elementos de perforación fueron ideados o adaptados localmente. Tampoco es ésta ahora la situación. Sin embargo, privadamente se están haciendo esfuerzos para el mejor y más eficiente uso del agua y para la reducción de la salinidad, con ciertos ejemplos encomiables y de interés, si bien buena parte de la tecnología procede de fuera del archipiélago, y de forma creciente.

Con una evaluación de carácter algo pesimista se aprecia que se está en una crisis -en una situación de

no sustentabilidad- científico-técnica y posiblemente institucional, en un marco político débil. Pero a pesar de las deficiencias, se afronta la escasez y se puede asegurar que se ha conseguido una notable mejora en paralelo al aumento de la actividad económica, aunque cabe argumentar que se podía haber logrado similar evolución con más eficacia y menor esfuerzo, y con una más rápida convergencia hacia la sustentabilidad dinámica. Como aspecto positivo se puede afirmar que lo que era un desconocimiento general de la hidrología, y en especial de la hidrogeología insular al inicio de la década de 1970, se ha ido convirtiendo en una conciencia ciudadana, aún incompleta e imperfecta, de los recursos de agua, que está presente en las decisiones administrativas y políticas, y en el modo en que los usuarios defienden sus intereses y se asocian para conservarlos. En ello la Administración Insular y los medios de comunicación han tenido una importante actuación, aún a pesar de cometer errores de concepto y de orientaciones partidistas. También el aporte científico y tecnológico de algunos grupos, tanto canarios como peninsulares, ha jugado un papel clave, y lo deberá seguir desempeñando.

Agradecimientos

Las ideas y conclusiones presentadas son de la estricta responsabilidad de los autores y no tienen por que ser compartidas por los organismos en los que se desarrollan sus actividades. Se trata de reflexiones basadas en el trabajo en las Islas Canarias desde hace casi 40 años, con participación en diversos proyectos y actividades.

El artículo se ha beneficiado del desarrollo de los Proyectos Europeos PALAEUX (ENV4-CT95-0156) y Baseline (EVK-1999-00032P) y del Proyecto CICYT "Bromuros" (HID-99-205), así como la frecuente participación de los autores en el apoyo y desarrollo de estudios en Canarias por parte de la administración pública y de algunas empresas privadas.

Referencias

- Aguilera, F. 2001. Comentario a "El papel económico de las aguas subterráneas en Canarias". *La Economía del Agua Subterránea y su Gestión Colectiva*. Fundación-Marcelino Botín/Ediciones Mundi-Prensa. Madrid: 269-280.
- AIH 1997. *Las aguas subterráneas en la planificación hidrológica en las Islas Canarias*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/Barcelona: 1-266.

- CIAGC 1995. *Las aguas del 2000: Plan hidrológico de Gran Canaria*. Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria: 1-219.
- Custodio, E. 1989. Groundwater characteristics and problems in volcanic rock terrains. *Isotope Techniques in the Study of the Hydrology of Fractured and Fissured Rocks*. Intern. Atomic Energy Agency. Viena: 87 - 137.
- Custodio, E. 1990. Saline groundwater in the Canary Islands (Spain) resulting from aridity. *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought*. NATO ASI Series: Mathematical and Physical Sciences, 325, Kluwer, Dordrecht: 593-618.
- Custodio, E. 1997a. Recarga de acuíferos e hidrogeología canaria: dos contextos en relación. *Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/Barcelona: 225-228.
- Custodio, E. 1997b. Situación y necesidades de formación, información, observación, datos de base y divulgación sobre el agua en Canarias. *Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/Barcelona: 93-100.
- Custodio, E. 2002a. Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology Journal*, 10 (2): 254-277.
- Custodio, E. 2002b. Hydrogeology of volcanic rocks. *Groundwater Studies*. UNESCO. Paris (in press). Chap. 16.
- Díaz Rodríguez, J.M. 1988. *Molinos de agua en Gran Canaria*. Ediciones La Caja de Canarias. Las Palmas de Gran Canaria: 1-649.
- Domínguez Vila, A. 1996. El mercado del agua en Canarias. *Precios y Mercados del Agua* (A. Embid, ed.), Civitas. Madrid.
- Falkland, A. y Custodio E. 1991. *Guide on the hydrology of small islands*. UNESCO Studies and Reports in Hydrology 49. Paris: 1-435.
- Fernández-Bethencourt, J.D. 1997. El Plan Hidrológico de Tenerife y las aguas subterráneas. *Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria /Barcelona: 43-51.
- Fernández-Bethencourt, J.D. 2001. El papel económico de las aguas subterráneas en Canarias. *La Economía del Agua Subterránea y su Gestión Colectiva*. Fundación Marcelino Botín/Ediciones Mundi-Prensa. Madrid: 251-267.
- Fernández-González, E. 1974. Un poco de historia: curiosidades sobre las captaciones de agua en Gran Canaria. *Símpoio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos*. CEDEX. Madrid: II: 1151-1168.
- Gómez, A., Argudo, C. y Vallejo, E. 1997. Treatment plant for the recovery and re-use of urban and industrial waste in the Canarian Islands using tertiary methods. Proc. IDA World Congress on Desalination and Reuse, CEDEX, Madrid, II: 629-641.
- Guerra, J.L. 1977. El Plan Hidrológico de Gran Canaria y las Aguas Subterráneas. *Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/ Barcelona: 53-58.

- Herrera, C. y Custodio, E. 2002. Hipótesis sobre el origen de la salinidad de las aguas subterráneas en la isla de Fuerteventura, Archipiélago de Canarias, España. *Boletín Geológico y Minero*, Madrid. (Sometido).
- Hoyos-Limón, A. 1997. La utilización del agua subterránea en Canarias y su papel económico, social y de oportunidad. *Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/Barcelona: 33-41.
- Hoyos-Limón, A. y Puga, L. 2000. Mercados y precios del agua en Tenerife. *Los Regadíos Españoles*, II Symposium Nacional. CEDEX, Madrid: 224-231.
- Llamas, M.R. y Custodio, E. 2002. *Intensive use of groundwater: a new situation which demands proactive action. Intensive Use of Groundwater: Challenges and Opportunities*. Balkema: 13-31.
- Marzol, V. 1988. *La lluvia, un recurso natural para Canarias*. Ed. Caja General de Ahorros de Canarias, nº 130: 220.
- Medina, J.A. 2000. Riego con agua desalada frente a riego con aguas salinas. *Los Regadíos Españoles*, II Symposium Nacional. CEDEX, Madrid: 498-515.
- Nieto, A. 1969. Heredamientos y comunidades de aguas en el siglo XIX. *Estudios de Derecho Administrativo Especial Canario*, Vol. III: Heredamientos y Comunidades de Agua. Aula de Cultura, Cabildo Insular de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife.
- PHITF 1989. *Plan hidrológico Insular de Tenerife: avance: bases para el planeamiento hidrogeológico*. Cabildo Insular de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife: 1-133.
- PHITF 1995. *Plan hidrológico Insular de Tenerife: 1.- Memoria*. Cabildo Insular de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife: 1-271.
- Roque, F. 1997. Los recursos de agua subterránea en Canarias en su contexto general. *Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias*. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/Barcelona: 17-31.
- SPA-15 1975. *Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias*. Proyecto SPA/69/515. MOP (DGOH) - PNUD (UNESCO). Las Palmas de Gran Canaria - Madrid. 4 vols.

Recibido: Agosto 2002

Aceptado: Septiembre 2002