

TECNOLOGÍA

CONDICIONANTES ECOLÓGICOS, SOCIALES Y TÉCNICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA DESALADORA DE LA ALDEA, GRAN CANARIA*

POR

AMANHUY SUÁREZ PÉREZ

La desalación está sustituyendo cada día más a las formas convencionales de captación del agua en muchas regiones áridas y semiáridas. La sobreexplotación de los acuíferos, sequías, aumento de la superficie agraria, superpoblación y el turismo de masas han obligado, en las Islas Canarias, a cambiar las estrategias tradicionales de obtención del agua por la desalación y reutilización de las aguas residuales. Pero la instalación de una planta desaladora está sujeta a una serie de condicionantes ecológicos, técnicos y sociales. Es el caso del proyecto de desalación realizado en La Aldea de San Nicolás, entre 1999 y

* Este artículo es un resumen de nuestro «Trabajo Fin de Carrera» de la licenciatura de Ciencias Ambientales (Escuela Politécnica Superior de la Universidad Alfonso X el Sabio, Madrid), dirigido por el doctor don José Ramón Ochoa Gómez. El trabajo, presentado en octubre de 2002, fue el resultado de una investigación *in situ*, cuando realizamos dos prácticas de empresa en esta desaladora y en su entorno (EDAR), dirigidas por la doctora doña Laura Iglesias Gómez, en los veranos de 2000 y 2001 (Convenio Universidad-Ayuntamiento en colaboración con el Consejo Insular de Aguas).

2001, en una comarca seca, con una propiedad minifundista, una gestión empresarial muy heterogénea y unos parámetros históricos y sociales peculiares. Estamos ante un proyecto de dos plantas desaladoras conjuntas, en un principio una de gestión pública y otra privada con los mismos beneficiarios; un complejo ubicado en una zona costera de sensibilidad ecológica y de valores históricos patrimoniales.

1. LA DESALACIÓN, ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El concepto desalación, muy de actualidad, es conocido desde la Antigüedad, donde se llegó a realizar ciertas experiencias. Aristóteles (384-322 a.C.) diseñó un evaporador muy simple para dar de beber a los marineros griegos en alta mar, en condiciones de extrema necesidad. Después fueron Tales de Mileto, Demócrito, Plinio y ya, en la Edad Moderna, otros intentaron perfeccionar tal proceso, llegándose a diseñar en barcos del siglo XVI, alambiques rudimentarios para obtener agua dulce, con escaso rendimiento.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX, la aplicación práctica de la máquina de vapor y los continuos avances en termodinámica, química e ingeniería coadyuvieron a mejorar este proceso. La primera patente de desalación se registra, en 1869, en Gran Bretaña y la primera planta desaladora se pone en marcha aquel mismo año en Adén.

A mediados de siglo XX se experimentan grandes avances con nuevas técnicas basadas en la utilización de resinas intercambiadoras de iones y cambios de fase. Es cuando surge parte de los sistemas actuales, como el de evaporación súbita de múltiple etapa ESME (Destilación Flahs multietapa MSF), evaporación múltiples efectos EMSMF (Destilación multiefecto MED) y comprensión a vapor (CV). Y a finales de la década de 1960 se logra construir la primera membrana sintética semipermeable a escala industrial, a partir de lo cual comienza a desarrollarse la técnica de desalación por ósmosis inversa (OI), en aguas salobres. Después de 1973 se ensaya cada vez más membranas resistentes hasta que se sustituye la membrana hueca por la de

espiral capaz de soportar los 65-70 kg/cm², lo necesario para desalar agua de mar. Paralelamente a estas experiencias también se fue desarrollando otra técnica de separación por membrana, basada en la aplicación de un campo eléctrico, la electrodiálisis (ED).

Entre 1977 y 1995, la desalación de agua de mar por ósmosis inversa experimentó un gran crecimiento en capacidades de producción, ahorro energético y expansión de las instalaciones, sobre todo en el área de Oriente Medio, seguido de otras regiones secas, una de ellas Canarias que desde 1964 venía desarrollando varios proyectos de desalación, mientras que el área del sudeste y levante español se sumaría a este proceso a partir de 1993 con lo que al entrar el siglo XXI, en todo el Estado se genera una producción total de 800.000 m³/día en 700 unidades¹.

2. LA DESALACIÓN EN CANARIAS

La Comunidad Autónoma de Canarias, una región con zonas áridas, ha desarrollado a lo largo de su historia las más variadas estrategias hidráulicas de captación, regulación y gestión². En lo que respecta a la forma no convencional de adquisición de recursos hídricos, en 1964, la isla de Lanzarote empezó a solucionar el abasto público con la planta potabilizadora de Arrecife por evaporación súbita multietapa (MSF) que producía 2.300 m³/día. En 1969, en Gran Canaria, entra en servicio la planta *Las Palmas I* con el mismo sistema anterior en cuatro evaporadores capaces de producir 20.000 m³/día,

¹ JOSÉ ANTONIO MEDINA SAN JUAN, «La desalación en España. Situación actual y previsiones», *Conferencia Internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos medioambientales, reutilización y desalación*, Zaragoza, 2001, CIRCE, Gobierno de Aragón. *Libro Blanco del Agua* (2000), Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente. *Plan Hidrológico Nacional* (2000).

² ANTONIO MANUEL MACÍAS HERNÁNDEZ, «Del Jardín de las Hespérides a las Islas Sedientas. Por una historia del agua de Canarias, c. 1400-1990», en *El agua en La Historia de España*, Universidad de Alicante, Salamanca, 2000, pp. 169-269.

que, en aquel momento, constituyó una de las más grandes del mundo y diseñada para producir, simultáneamente, agua y energía eléctrica (20 MW). Le siguió el ejemplo Fuerteventura, en 1970, con el mismo procedimiento de desalación (MSF) mediante 5 evaporadores con capacidad de producción de 400 m³/día, cada uno, de carácter dual pues disponía de un generador eléctrico (700 kW). En aquellos años, la escasez de agua peligraba tanto el desarrollo turístico como el abasto a la población.

A mediados de los años setenta se instaló en la finca de Los Moriscos, del Servicio Agrícola de la Caja Insular de Ahorros de Gran Canaria, la primera planta por ósmosis inversa (80 m³/día), para desalar agua salobre de un pozo, para uso agrícola. Aquellas primeras desaladoras resultaban costosas; para producir un metro cúbico de agua se necesitaban treinta kilowatios de potencia, cuando ahora con los nuevos procedimientos el consumo específico se ha rebajado a 2,9 y la media de todo el proceso se queda entre 4 y 6 kW/h.

En los años ochenta se fueron instalando, en Gran Canaria y en las restantes islas orientales, otras plantas desaladoras, cada vez con mayor rendimiento y disminución de costes. Destaca la experiencia por electrodiálisis (ED) introducida, en 1986, en Morro Besudo, por ELMASA, para el suministro de agua a la zona turística de Maspalomas, con capacidad de 22.000 m³/día por 10 módulos de electrodiálisis reversible. En aquel año se adjudica la mencionada planta *Las Palmas III* (36.000 m³/día, O.I.), puesta en marcha en 1990, con la particularidad de experimentar con éxito, por primera vez a escala mundial, membranas espirales para una gran capacidad de producción (hasta ese momento sólo se utilizaban las membranas de fibra hueca en plantas importantes de O.I.), donde, además se experimentó, por primera vez también, equipos recuperadores de energía.

Los cambios tecnológicos experimentados entre finales de los años ochenta y principios de los noventa, junto al fuerte apoyo de las administraciones públicas, fueron convirtiendo a la desalación en una alternativa viable y segura para producir agua, frente a la sobreexplotación del acuífero y a la inseguri-

dad de las aguas pluviales³. Marca otro jalón importante el Convenio suscrito entre el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo y la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Aguas del Gobierno de Canarias, en 1988, que puso en marcha el Primer Programa de Desalación en Canarias, con un total de 10 plantas nuevas con una capacidad de 48.000 m³/día. En aquel año se construyó en los llanos de Juan Grande (Gran Canaria) una planta por ósmosis inversa alimentada con agua de mar para producir agua para la agricultura (6.000 m³/día).

En 1992 se acuerda el II Programa de Desalación suscrito entre el Gobierno canario y el central (con capacidad para producir 65.000 m³/día), que incorpora actuaciones en la isla de Tenerife. Paralelamente a estos programas de desalación del sector público se desarrollan varias iniciativas privadas de desalación, tanto en aguas de pozos como de mar, en los sectores de la hostelería y agricultura. Asimismo los planes hidrológicos insulares centran su atención en esta producción no convencional del agua. Y sobrepasado 2001, en todo el Archipiélago ya se contabilizan más de 250 plantas desaladoras, con una producción superior a los 315.000 m³/día.

Destaca, en cuanto a capacidad de producción, la isla de Gran Canaria, sobre todo la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, con una población cercana a los 400 mil habitantes, donde sus recursos hídricos provienen casi en su totalidad de sus plantas desaladoras, que producen actualmente unos 109.000 m³/día. Las unidades restantes, instaladas en otros pueblos y ciudades de la costa, alcanzan unos 40.000 m³/día. El Plan Hidrológico, calculaba, en el momento de su elaboración (1995) que, para 2003, el 54% del total consumido de agua, en toda la Isla, procedería de la desalación. Pero se quedó corto en sus previsiones, pues, en estos momentos, el 65% de los recursos hídricos consumidos proceden de la desalación⁴ que, además, abastece las necesidades

³ WLADIMIRO RODRÍGUEZ BRITO, *El agua en Canarias y el siglo XXI*, Las Palmas de Gran Canaria, 1995, pp. 103-114. JUAN FRANCISCO MARTÍN RUIZ, *Geografía de Canarias*, Cabildo de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 135-136.

⁴ *Plan Hidrológico de Gran Canaria*, Cabildo de Gran Canaria, 2000. *La Provincia-Diario de Las Palmas* (11-03-2003), p. 23: «Más de la mitad del agua que se consuma este año en la Isla procederá de las desaladoras».

del 80% de la Isla. El siguiente paso será continuar elevando el nivel del agua desalada hacia las medianías tanto para el abasto público como para la agricultura, en estos momentos situado en los 600 metros de altura sobre el nivel del mar, en los Altos de Guía, donde ya se riegan hortalizas con el agua de las desaladoras. Los precios del agua, controlados hasta hace poco por los «aguatenientes», comienzan a reducirse. Si en 1995 la hora de agua de 9 l/s, procedente de pozos y presas podía alcanzar las 7-8 mil pesetas, en 2003 las desaladoras públicas la ofertan a los agricultores a un precio de coste reducido casi a la tercera parte⁵. Como consecuencia de todo ello los efectos ambientales van a ser muy significativos, después de tantos años de sobreexplotación, comienza a nivelarse la reposición del acuífero insular. Para 2007, según los últimos cálculos del Consejo Insular de Agua de Gran Canaria, el 73% del agua que se consume en esta isla, procederá de la desalación; aunque recuperar los niveles originales del acuífero va a necesitar varios siglos.

Pero uno de los mayores problemas de la desalación es el coste energético; aunque, en treinta años, se ha reducido a la quinta parte, y, seguirá el descenso pues se avanza en experiencias con energías renovables y sistemas de recuperación de energía generados en el mismo proceso de la desalación⁶. En 2001, los planes recogidos en las Directrices de Ordenación General de Territorio calculaban para 2010, que el abastecimiento energético de las desaladoras canarias debería, en casi su totalidad, proceder de la energía eólica⁷.

Por último, si bien son significativos los avances experimentados en Canarias en la desalación y sus efectos positivos en materia ambiental, también lo es el coste que tal proceso pudiera tener sobre los ecosistemas si no se controlan los impactos producidos tanto en las tomas de las aguas salobres y saladas

⁵ *Canarias 7*: «La desalinizadora o el renacer de la agricultura», 20-VI-2003, Suplemento Especial, p. XV.

⁶ ROQUE CALERO PÉREZ y ALEJANDRO MENÉNDEZ SOSA, «Experiencias en la desalación con energías renovables en Canarias. Instituto Tecnológico de Canarias», *Conferencia Internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos medioambientales, reutilización y desalación*, Zaragoza, 2001.

⁷ *El Día*, Santa Cruz de Tenerife, 20-10-2001.

como en los vertidos del rechazo (salmuera), como estudiaremos en el caso de La Aldea.

3. EL VALLE DE LA ALDEA

La desaladora objeto de nuestro estudio se sitúa en La Marciega, en la desembocadura del barranco de La Aldea-Tejeda cuya cuenca hidrográfica, con una superficie de 177 km², es la más extensa de Canarias. A través de su cauce principal y tributarios se entrelazan localidades de tres demarcaciones municipales históricas: Artenara, Tejeda y La Aldea de San Nicolás, por donde discurren las aguas pluviales que se abren hacia el valle de La Aldea después de atravesar el profundo cañón de San Clemente, riegan un rico espacio agrícola y salen al mar por una amplia ensenada.

3.1. Aspectos físicos y el agua

Estamos en la parte más antigua de una isla volcánica surgida hace unos 15 millones de años, tiempo que, sin erupciones recientes, ha permitido a los agentes erosivos modelar el paisaje de un valle con agudos perfiles hacia su amplia cubeta⁸. El subsuelo del valle de La Aldea lo conforman aluviones donde se acumula la capa freática. El sustrato rocoso, de un basalto originado por coladas tipo *aa*, no permite acumulaciones de bolsas de agua. En tiempos húmedos, esta capa de aluviones almacena una reserva de agua superior al 1,5 hm³ pero en los ciclos de sequía, y siendo sobreexplotado por centenares de pozos, el nivel piezométrico desciende y propicia la entrada del interfaz marino que saliniza las aguas de los pozos.

Su desembocadura conforma un estuario hundido⁹, con un subsuelo a base de capas de finos aluviones intercalados de se-

⁸ *Mapa Geológico de España. ITGE. Escala 1:25.000. San Nicolás de Tolentino. 1.1108-11-111. 81/84, 82/84*, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 1992.

⁹ A. SANTANA SANTANA Y A. NARANJO CIGALA, *El Relieve de Gran Canaria*, Las Palmas de Gran Canaria, 1992, pp. 80-83.

dimentos de paleolagunas de agua dulce, superpuestos a lo largo de los milenios, a consecuencia de las diversas regresiones y transgresiones marinas. En este subsuelo, en la misma línea costera se perforaron los pozos para la captación del agua del mar para el referido proyecto de desalación, con resultados poco satisfactorios, como ya estudiaremos.

La situación a sotavento insular determina en esta comarca unas altas temperaturas (20-25°C), con una acusada sequedad (150 mm de precipitación media anual aunque en los últimos cinco años esta media se reduce a unos 50 mm), una fuerte insolación y elevada evaporación (1.000-1.400 mm), parámetros de un clima subdesértico suavizado por el viento alisio. Sólo los ocasionales tiempos lluviosos de S y SO producen importantes y torrenciales aguaceros que generan fuertes avenidas las que acumulan grandes caudales de agua en las presas¹⁰. La presencia de este viento del NNE es constante en los meses de primavera y verano, sobre todo entre la segunda quincena de julio y la primera de agosto con rachas que superan los 30 km/h. Otro de los condicionantes ecológicos que afectó a la obra civil de la potabilizadora en el mes de agosto de 2000.

El valle está rodeado por espacios naturales protegidos, áreas sensibles de diversas categorías de protección: Parque Rural de Roque Nublo, Parque Natural de Tamadaba, Reserva Natural Especial de Güigüi (Guguy, propuesta para Parque Nacional) y Reserva Natural Integral de Inagua. La desaladora en estudio se encuentra a la vista de todos ellos y a menos de 400 m de dos, y a 150 m de dos espacios catalogados como Bien de Interés Cultural: Los Caserones (yacimiento arqueológico y paleontológico) y El Charco (en proceso de declaración).

Las aguas pluviales y manantes de esta cuenca han irrigado históricamente el amplio valle que conforma el curso bajo de su barranco principal. Aguas que desde los primeros años de la Conquista de la Isla quedaron vinculadas al latifundio Hacen-

¹⁰ La comarca del SO de Gran Canaria se ha visto históricamente sometida a largos ciclos de sequía. El reciente abarca de 1993 a 2002 con años con una pluviometría inferior a los 20 mm. El anterior ciclo fue entre 1972 y 1979 en el que se perdieron todos los cultivos de plataneras (SUÁREZ, 1994).

da Aldea de San Nicolás (1.954 ha), el que después de muchos avatares históricos, luchas contra la terratenencia noble y agitaciones sociales, quedó repartido entre los vecinos, por el propio Estado que no sólo, mediante decreto ley, expropió a la terratenencia y vendió a los colonos, en 1927, sino que determinó la forma y gestión de sus aguas mediante creación de la *Comunidad de Regantes La Aldea de San Nicolás*, bajo el principio indivisible del agua-tierra.

La historia del agua en esta comarca es compleja. Las formas de captación y de gestión tradicionales han evolucionado a lo largo del tiempo. Primero se regularon comunitariamente a través de las acequias y albercones, luego se generalizó la perforación de pozos y la construcción de arquitecturas hidráulicas diversas (1930-1960) por la vía privada y la comunitaria, y, por último, se construyeron los grandes embalses y canales (1950-1980) por parte del Estado aunque con la cesión y gestión del agua a la referida comunidad, hasta que, en los años finales del siglo xx, se presentó el imperioso planteamiento de la captación del agua por el procedimiento no convencional de la desalación, debido a un largo ciclo de sequía¹¹.

3.2. *La dialéctica hombre-Naturaleza*

La relación del hombre-mujer con el medio, en este valle, alcanza un desarrollo vigoroso en el plano de la agricultura de exportación, producto de unas determinadas condiciones ecológicas que han permitido disponer de unos recursos (suelo, agua, temperatura...) en beneficio de cultivos intensificados y competitivos¹². El monocultivo del tomate, introducido en 1898, es la principal producción, comercializada principalmente a través de

¹¹ FRANCISCO SUÁREZ MORENO, *El Pleito de La Aldea*, 1990, pp. 355-374. ÍDEM, *Ingenierías históricas de La Aldea*, Cabildo de Gran Canaria, 1994, pp. 33-197. ÍDEM, *La Comunidad de Regantes Aldea de San Nicolás*, 2003.

¹² ALEJANDRO GONZÁLEZ MORALES y MANUEL CARRETERO MORENO, «Los condicionantes ecológicos en el desarrollo de la agricultura en el valle de La Aldea», en *XII Coloquio de Historia Canario-Americana*, 1996, tomo I, pp. 65- 84.

dos grandes cooperativas: COAGRISAN y COPAISAN ubicadas en el valle, aparte otra menor en Tasarte, COPARLITA. Este régimen cooperativista ha permitido a los pequeños agricultores sacudirse del control a que estaban sometidos hasta mediados de la década de 1960 por las empresas exportadoras y hoy genera unas relaciones económicas más dinámicas¹³.

CUADRO I

PRODUCCIÓN TOMATERA, EN LA ZAFRA DE 1998-1999.
LA ALDEA DE SAN NICOLÁS

<i>Empresas, cooperativas y número de asociados</i>	<i>Has.</i>	<i>Toneladas</i>	<i>%</i>	
			<i>Isla</i>	<i>Local</i>
COAGRISAN (392 socios)	205	19.200	7,2	44,5
COPAISAN (26 socios)	100	11.070	3,7	23,1
ANGULO (SAT. A.A.)	31	3.369	1,5	7,1
COPARLITA (15 socios)	12	1.080	0,5	3,2
M. RUIZ	4	280	0,1	0,8
TOTALES	356	34.999	16,2	100

Fuente: Servicio de Extensión Agraria de La Aldea y empresas. Elaboración propia.

Pero la acción antrópica ha generado efectos negativos en un paisaje que pudiera ser capital activo para otras alternativas en la perspectiva del desarrollo sostenible aparte otros, en el plano del agotamiento de los recursos hidráulicos del subsuelo, ya no por la sobreexplotación del acuífero que genera su salinización por intrusión marina, sino por los agentes químicos originados por la circulación de los retornos de los riegos. En este extremo, recientes estudios han puesto de manifiesto la existencia de una importante contaminación por nitratos de las aguas subterráneas del acuífero¹⁴.

¹³ JORGE PÉREZ ARTILES, *Development, Cooperation and Differentiation in an Agrarian Economy: La Aldea, Gran Canaria*, tesis doctoral (inérita), Universidad de Manchester, Gran Bretaña, enero 1994.

¹⁴ FELIPE DELGADO MANGAS, «Los procesos de salinización del agua subterránea en el acuífero de La Aldea de San Nicolás», en *Vector Plus*, Fundación Canaria Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, enero-junio de 2001, pp. 44-53.



Localización en el valle de La Aldea de las desaladoras (1976 a 2000). *De agua de mar*: 1. Potabilizadora municipal por compresión a vapor (1976) y 2. Planta Desaladora Consejo Insular de Aguas-Agricultores (2000). *De agua de pozos*: 3. Municipal de Los Manantiales. 4. Hnos. Montesdeoca. 5. Hnos. Segura. 6. Armando Romero. 7. Angulo SAT Furel. 8. Copaisan. 9. Casa Nueva.

4. ANTECEDENTES DE LA DESALACIÓN EN LA ALDEA

El primer proyecto de desalación en este valle fue una planta potabilizadora israelí, adquirida en el ciclo de sequía de los años setenta, concretamente en 1976, por el Ayuntamiento en 12 millones de pesetas e instalada en El Roque, a pocos metros del mar. Se trataba de una unidad por compresión a vapor que, con la energía de dos generadores accionados por sendos motores térmicos de 250 CV, potabilizaba 216 m³/día. Tras varios años de buenos regímenes pluviométricos esta potabilizadora dejó de ser rentable y fue vendida en 1983, por 14 millones de pesetas.

En los primeros años de la pasada década de 1990 comenzó un nuevo ciclo de sequía, en el que no se llegó a agotar el total

de los recursos hidráulicos por la presencia alterna de lluvias irregulares, sobre todo las de 1993-1994. Y nuevamente se volvió a plantear la desalación tanto de agua salobre de pozos como directamente del mar. El primer paso lo dio el Ayuntamiento con una pequeña planta desaladora de agua de pozo salobre, por ósmosis inversa, con una producción diaria de 172 m³/día, que venía a cubrir un 10% de sus necesidades. Por su parte, hacia 1993, las grandes cooperativas de COPAISAN y COAGRISAN se plantearon la necesidad de desalar agua de pozos aunque la idea derivó luego en un anteproyecto para agua del mar¹⁵.

Después de 1994, la sequía continuó y a finales de la década la situación quedó en alerta roja. En 1998, las extracciones masivas de aguas subterráneas volvieron a salinizar las aguas subterráneas. Algunas empresas con pozos en la zona baja del valle empezaron a experimentar pequeñas plantas desaladoras por ósmosis inversa de la última generación tecnológica, para desalar agua salobre del subsuelo. Por su parte, el Ayuntamiento de San Nicolás instaló una segunda planta en el complejo hidráulico de Los Manantiales que ya había sido adquirido en propiedad hacia 1995 por 7,5 millones de pesetas. Este segundo proyecto contó con un presupuesto inicial de 25 millones de pesetas que se elevó finalmente a los 48 millones, por otras obras de infraestructura. La nueva planta municipal, que a principios de 1998 quedó en funcionamiento, producía 600 m³/día. Luego, por el procedimiento de urgencia, dada la pertinaz sequía, en septiembre de 1999, entró en funcionamiento otra nueva planta, en el mismo complejo hidráulico, cuyo presupuesto ascendió a 14 millones de pesetas, con una capacidad de producción de 650 m³/día. El proceso continuó y al final fueron 10 las potabilizadoras de agua salobre que se instalaron en La Aldea, entre 1998 y 2000, casi todas en la zona marginal del gran barranco, con una producción potencial de 5.366 m³/día, aunque con la real se reducía a un 25%¹⁶.

¹⁵ Información oral: Celestino Suárez Espino, alcalde y director general de COPAISAN. Pedro Sánchez Ojeda, ex presidente de COPAISAN.

¹⁶ Trabajo de campo (julio-agosto 2000, julio-agosto 2001). Información de empresas y cooperativas locales. Proyectos de desalación consultados (varios).

Al mismo tiempo que se producían las innovaciones para la desalación de agua salobre de pozos, se venía planteando, en el valle de La Aldea, generar agua para riego desde el mar. La primera iniciativa se produce para materializar una idea iniciada en 1993, por las cooperativas agrícolas de COPAISAN y COAGRISAN, para producir 15.000 m³/día (las necesidades máximas del valle), con agua de mar, mediante un presupuesto de 1.000 millones de pesetas a cubrir por los entes locales con unos 300 millones de pesetas y el resto con ayudas oficiales (Cabildo, Comunidad Autónoma canaria y fondos europeos), en cuyo proyecto estaría integrado el Ayuntamiento y la *Comunidad de Regantes Aldea de San Nicolás*. Pero, en marzo de 1993 las presas reciben, de unas lluvias retrasadas, la significativa cantidad de 3.336.684 m³ y el volumen del agua almacenada alcanza el 90% de su capacidad máxima, incremento que se acentúa con las lluvias del otoño-invierno siguiente, para llegar a marzo de 1994 con 10.289.756 m³, casi el 100% de su volumen. Como consecuencia de ello, aquel primer proyecto de desalación por ósmosis inversa quedó para siempre en algún archivo, se perdía la primera oportunidad y un tiempo precioso para haber solucionado el problema del agua¹⁷.

El ciclo de sequía se iba alargando y el volumen de agua almacenada en los embalses se reduce a 4.418.853 m³, a comienzos de la zafra 1995-1996, reservas que sólo aseguran el regadío de los cultivos un año más. Es cuando se produce el segundo proyecto de desalación de agua de mar, de participación común. La iniciativa parte de un grupo de propietarios y tratan de implicar al Ayuntamiento, a fuerzas políticas y a la histórica *Comunidad de Regantes Aldea de San Nicolás* para aprovechar su infraestructura de distribución. La comisión promotora consideró a esta comunidad como el organismo más indicado para gestionar el proyecto, habida cuenta que, aparte su infraestructura, todos los agricultores y Ayuntamiento eran partícipes de la misma. El tema fue llevado a varias juntas generales, pero al-

¹⁷ ARCHIVO COMUNIDAD DE REGANTES ALDEA DE SAN NICOLÁS: Archivador con los partes mensuales del estado de las presas desde 1991 a 2001, enviados al Servicio Hidráulico de Las Palmas. Armario de Secretaria. *Proyecto de Planta Desaladora*, 1995. Autor, M. Enrique Ruiz.

gunos partícipes hipercríticos o con intereses especulativos en el mercado local del agua hicieron fracasar la gestión frente a la inhibición de la mayoría que aún mantenía las esperanzas de la llegada de las lluvias. Éstas se presentaron, entre diciembre de 1995 y marzo de 1996, y acumularon en las presas 5.202.199 m³ más, lo que supuso, con las existencias, un total de 7.821. 817 m³, insuficiente para asegurar el regadío de dos temporadas agrícolas.

Tres años después, a finales de 1999, la crisis se agudizaba por el pertinaz ciclo de la sequía, con el consiguiente agotamiento de los recursos hídricos tanto de las presas como de unos pozos cada vez más sobreexplotados. Nuevamente, el fantasma de la sequía amenazaba la potencial pérdida de las cosechas de la temporada 1999-2000. La historia volvía a repetirse y, por tercera vez, en seis años de crisis cíclica. Como consecuencia de ello, ya estaban en marcha dos proyectos de desalación de agua de mar¹⁸.

5. LA PLANTA DESALADORA DE LA MARCIEGA

5.1. *El Proyecto común de planta desaladora*

Desde octubre de 1998, el Ayuntamiento de La Aldea con el Consejo Insular de Aguas, en el contexto del Convenio de Aguas Canarias-Madrid, llevaba las gestiones muy avanzadas para la construcción de una planta desaladora pública en La Marciega, con capacidad para producir 5.000 m³/día y se calculaba que estaría en funcionamiento a finales del año siguiente. A su vez se estaba elaborando otro proyecto de las mismas características y en la misma zona por las cooperativas. Desde la concejalía de Medio Ambiente del Ayuntamiento se toma la iniciativa de integrar ambos proyectos en uno solo. Las gestiones se realizan

¹⁸ ARCHIVO DEL AYUNTAMIENTO DE SAN NICOLÁS: Proyecto de construcción de la «Potabilizadora de San Nicolás de Tolentino», 1999. Gabinete de Prensa: *Hoja informativa La Aldea de San Nicolás de Tolentino*, núm. 2 al 16 (1999-2001).

entre noviembre de 1998 y febrero de 1999 con resultados positivos. Razones: la capacidad de sustentación ecológica de la desembocadura del valle de La Aldea era muy limitada para dos plantas y el entendimiento para el proyecto común entre los agricultores era obligado e inteligente, para aprovechar los beneficios que reportaría la iniciativa pública.

El proyecto común se ubicó en la zona elegida por el proyecto público, la desembocadura del gran barranco de La Aldea, en La Marciaga, por favorables condicionantes ecológicos, urbanísticos y sociales, tales como la cercanía al mar, la ocupación de un espacio que supone un menor impacto al entorno costero, lo suficientemente alejado de la población y por ser gran parte del mismo propiedad municipal; aparte los objetivos ambientales propios de esta forma no convencional de captación de agua: reducción de la presión sobre un acuífero degradado, abastecimiento a la población y al proyectado desarrollo turístico sostenible en aquella zona, al riego agrícola, etc. en un momento de crisis hídrica.

Este proyecto, único en Canarias, en principio englobó a un ente público como el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria y las dos grandes cooperativas agrícolas locales que copan el 90% de la producción local y algunas pequeñas empresas agrícolas. Se diseñó con dos plantas desaladoras de 5.000 m³/día cada una, en un mismo espacio y redes comunes de captación del agua del mar y distribución del agua desalada.

Tras intensas gestiones sociales y políticas se logró aunar los esfuerzos e ideas hasta aquel momento condenados al fracaso para comenzar a gestionar la obra. Por un lado estaban las necesidades urgentes del abasto de una población de 8.000 habitantes por parte del Ayuntamiento (en aquel momento en gravísima situación por agotamiento casi absoluto de las reservas) y por otro la irrigación del espacio agrícola del tomate, comercializado en Europa a través de las dos mencionadas cooperativas, COPAISAN Y COAGRISAN. En 1998, las instituciones públicas por un lado y los agricultores (integrados en distintas cooperativas) tenían la misma necesidad y los mismos objetivos pero se hallaban muy distanciados, con intereses personales, reticencias y recelos profesionales y políticos que obstruían el

avance del proyecto común. A pesar de todo se constituyó una comisión gestora con representantes de todos los sectores implicados, dinamizada por José Miguel Rodríguez, primer teniente de alcalde y concejal de Medio Ambiente.

Las elecciones municipales, cabildicias y autonómicas de 1999 produjeron unos resultados favorables a un entendimiento entre las distintas administraciones públicas en relación a las demandas de los regantes aldeanos. Después de muchas gestiones a nivel político insular, reuniones de comisiones y problemas de todo tipo, la comisión gestora consigue, a principios de 1999, la puesta en marcha del proyecto común con los pasos siguientes:

- 1.º Los agricultores encargan a *Tedagua* el diseño de una planta desaladora, por ósmosis inversa, que se redacta en marzo de 1999, habiendo conformado un ente privado pro indiviso que se hace cargo de financiar los gastos en la proporción siguiente: COAGRISAN, 57,87%; COPAISAN, 27,78%; Silvestre Angulo, 1,85%; SAT Furel, 7,41%; Juan Delgado, 3,20%; y Lomo del Trigo, 1,39%. Sobre la marcha inician las obras de urgencia para la canalización desde el solar de la futura Planta Desaladora hasta el fondo del valle. Y, se llega a un acuerdo con la *Comunidad de Regantes de La Aldea de San Nicolás* para el uso de las canalizaciones y acequeros distribuidores, previo el pago de un canon
- 2.º El Consejo Insular de Aguas se compromete a financiar el sobrecoste de la integración de las dos plantas por aumento de pozos de captación del agua del mar, impulsiones, almacenamiento, suministro eléctrico, etc.
- 3.º El Consejo Insular de Aguas prioriza la ejecución de este proyecto público frente a otros de la Isla por la gravísima sequía que afectaba a la comarca, poniendo como fecha de puesta en marcha de una de las dos desaladoras, a principios del año 2000.
- 4.º El proyecto global se redacta y modifica sobre la marcha. *Tedagua* se queja de que no se contempla en la obra civil las singularidades de su planta y sí la de *Cadagua*.

- 5.º Los problemas son constantes y complejos. Dos grandes cooperativas con profundos recelos y el Consejo Insular de Aguas poco convencido del proyecto común. Y dos empresas de desalación, *Tedagua* y *Cadagua*, en competencia comercial, teniendo por medio varias subcontratas de la obra civil. En consecuencia se ve la necesidad de constituir una mesa de seguimiento del plan de trabajo que se forma con el Consejero de Aguas del Cabildo de Gran Canaria, Rafael Pedrero; el Concejal de Urbanismo, Obras y Medio Ambiente, José Miguel Rodríguez; el gerente del Consejo Insular de Aguas, José Luis Guerra; el ingeniero del Consejo Insular de Aguas, Enrique Castro y miembros representantes de los responsables de la planta desaladora de los agricultores: la empresa *Cadagua*, COAGRISAN, COPAISAN, *SAT Silvestre Angulo*, *Juan Delgado* y *Lomo del Trigo*.

5.2. *Condicionantes técnicos, políticos y ecológicos iniciales*¹⁹

El proyecto común había tomado cuerpo, comenzando las obras a principios de 1999 con la red de impulsión desde el lugar donde se iba a ubicar la depuradora hasta las cotas altas

¹⁹ Reconstruimos los hechos en base a:

- 1.º Testimonios orales: José Miguel Rodríguez, primer teniente de alcalde; Isidro Espino Matías, COPAISAN; José Rodríguez Franco, presidente de COPSAISAN, y Jacinto Godoy González, director general de COAGRISAN (julio-agosto de 2000).
- 2.º Nuestra observación *in situ* pues, en aquel momento, realizábamos las prácticas de empresa en la EDAR del Consejo Insular, justo mismo al lado de las obras.
- 3.º AYUNTAMIENTO DE SAN NICOLÁS: Gabinete de Prensa. Archivo de recortes de prensa diaria, 1997-2001 (ver con detalle artículos consultados en el apartado final de fuentes de información). En el trabajo de campo contamos con muchos testimonios orales de operarios de las varias empresas que concurrían en este proyecto, las fuentes escritas y la observación propia en el momento que realizábamos nuestras prácticas de empresa ya citadas, julio-agosto 2000 y 2001.

del valle, a cargo del consorcio de agricultores. Y ya en septiembre de 1999 se había iniciado la apertura de los pozos de captación del agua del mar por un procedimiento de urgencia.

La primera piedra se colocó el 16 de febrero de 2000, con una amplia cobertura informativa y la presencia de las primeras autoridades insulares y locales. En el acto aseguraron que la planta de los agricultores estaría operativa a mediados de agosto y la pública en octubre de 2000, con lo que se mantenía la esperanza de iniciar la zafra de 2000-2001, con agua de la futura desaladora. El momento era crítico: de la capacidad de 11 millones de metros cúbicos de las presas sólo había almacenado 700.000 m³, quedando aún por regar la tercera parte de la zafra tomatera de 1999-2000 y los cultivos de verano.

El proyecto de obra civil (cálculos técnicos, ajustes y modificaciones) se iba ejecutando sobre la marcha, en la primavera-verano de 2000, con improvisaciones continuas dada la premura en terminar la obra en los plazos establecidos. Las empresas de subcontrata no reciben pagos de acuerdo con el avance rápido de la obra civil y para que continúen las obras los agricultores adelantan 20 millones de pesetas. Varios de los pozos para la captación del agua del mar no son rentables por las condiciones geomorfológicas del subsuelo, como estudiaremos más adelante, lo que obliga a prospecciones en puntos diversos.

A lo largo de junio-julio de 2000, las obras se ejecutaban a un ritmo acelerado en todos los frentes (sistema de bombeo en los pozos, canalizaciones, impulsiones por cuenta de los agricultores la obra civil, la planta desaladora...); pero insuficiente para cumplir con el primer plazo del 15 de agosto para la puesta en marcha de la planta de los agricultores. Entre otras dificultades que hacían incumplir este plazo se hallaban los mencionados problemas económicos con las subcontratas, los vientos alisios que impedían los trabajos de la estructura alta de la obra civil, el escaso rendimiento de los pozos de captación, etc.

Fue un verano de infarto para políticos, gerentes de empresas y cooperativas, agricultores y técnicos responsables. Las reservas hídricas se habían agotado para unos agricultores y para otros estas sólo llegarían hasta el otoño. Las restricciones del agua de abasto público se alargaban hasta ciclos de dos sema-

nas con la consiguiente alarma y protestas de la población. La oposición política municipal aprovecha la coyuntura de alarma social para criticar la gestión pública.

Se anuncia un aplazamiento de la puesta en marcha hasta septiembre; pero, llegado este mes, con la planta de los agricultores ya dispuesta para desalar, se presenta otro gravísimo problema: la insuficiencia del suministro eléctrico de la red pública para accionar los grupos electrógenos, con lo que se genera otro fuerte debate social y político con amplio eco en la prensa y demás medios de comunicación insular. Para solventar la situación se adquiere en Alemania un potente motor de gasoil.

Por fin, a primera hora de la tarde del viernes, 20 de octubre de 2000, uno de los módulos de la planta de los agricultores quedaba operativo y el agua producida llegaba a muchas fincas de tomateros ya en estado de grave estrés hídrico. Los problemas continuaron a lo largo de los meses siguientes con otras dificultades técnicas frente a la necesidad urgente de los cultivos y la población sedienta, hasta que la planta pública quedó operativa, que fue inaugurada el 29 de enero de 2001, por el presidente del gobierno de Canarias, Román Rodríguez, en presencia de las más altas representaciones políticas insulares y locales. En aquel momento, con los embalses casi vacíos (22.207 m³, el 0,2% de su capacidad) y los pozos secos o salinizados, se había salvado la temporada y asegurado una parte del futuro económico de este pueblo; sin embargo, la obra civil estaba inacabada y la gestión administrativa de las dos plantas sin determinar.

Las gestiones continuaron a lo largo del año hasta que el Consejo Insular de Agua adquirió la planta de los agricultores previo acuerdo sobre la distribución y gestión proporcional del agua, tanto a los cultivos como a la población, con intervención de la infraestructura de la Comunidad de Regantes Aldea de San Nicolás en la red general de canales y acequias de distribución.

5.3. *Generalidades y condicionantes ecológicos del proceso*

Este complejo hidráulico de desalación de agua de mar está situado a 600 m de la costa de La Aldea de San Nicolás. La obra civil e infraestructura de impulsión/captación de aguas fue adjudicada a la empresa nacional *Cadagua* por 273.130.000 pesetas a cargo de los presupuestos del Cabildo Insular de Gran Canaria, así como la planta desaladora pública por 500.000.000 pesetas; mientras que la instalación de la planta de los agricultores, con presupuesto propio de estos, fue asignada a la empresa canaria *Tedagua* por unos 260.000.000 de pesetas. La singularidad de este proyecto radica en que en una misma obra civil se hallan las dos plantas (la de los agricultores y la pública), proyectadas para una producción de 5.500 m³/día, cada una, a través de dos bastidores independientes de producción de 2.500 m³/día, operando a una conversión del 45% y a una presión máxima de 69 bar²⁰.

5.3.1. **Evaluación del impacto ambiental**

El Estudio de Impacto Ecológico²¹ (EIA) se ejecuta en abril de 2000, en base a la Ley 11/1990, de 13 de junio, de Prevención del Impacto Ecológico para la obtención de la preceptiva Declaración del Impacto Ambiental, según la legislación vigente de la Comunidad Autónoma de Canarias. Ésta no contempla la problemática ambiental de las plantas desaladoras, cuando estamos en una región pionera en este tipo de industria, mientras que otras, con menos historia en este campo, como es el caso de la Comunidad Autónoma de Murcia, ya lo tiene en su lista

²⁰ ARCHIVO DEL AYUNTAMIENTO DE SAN NICOLÁS: *Proyecto de construcción de la «Potabilizadora de San Nicolás de Tolentino», 1999.*

²¹ «Estudio detallado de Impacto Ecológico del *Proyecto de construcción de la «Potabilizadora de San Nicolás de Tolentino», 1999.* Autores: Eric Landrau y otros. Promotor, Cabildo Insular de Gran Canaria. Sociedad de Promoción Económica de Gran Canaria.

de EIA de acuerdo con la Disposición Adicional Tercera del Real Decreto ley 9/2000 de ámbito estatal.

Por consiguiente el EIA en cuestión sólo se centra en los efectos de la obra civil y fuentes energéticas quedando al margen elementos impactantes propios de la desalación por OI. Se carecía en aquel momento, en Canarias, de una legislación y literatura técnica adecuada cuando ya en otras partes (área del mediterráneo, Golfo Pérsico, etc.) se planteaba con estudios serios los impactos y problemas en las tomas del agua de mar y salobres, los vertidos de salmuera, los efectos sobre ecosistema marino y otros, que iremos indicando en el estudio de los condicionantes ecológicos²². Lo cierto es que el impacto del proceso de desalación en la fase operativa y de funcionamiento va a ser, en nuestra apreciación, «Significativo» y necesitada de medidas correctoras.

5.3.2. **Captación del agua bruta, principal condicionante ecológico**

Las dos plantas desaladoras toman el agua del mar de ocho pozos de captación. Desde los mismos se impulsa el agua, a través de bombas eléctricas sumergibles, hasta cada uno de los dos puntos reguladores, y desde ahí se bombea por un colector general, barranco arriba, a lo largo de 640 metros con un desnivel del 1,25% hasta los depósitos reguladores de agua bruta. Una vez que el agua bombeada llega a los estanques reguladores, para garantizar las condiciones óptimas requeridas en la alimentación de los bastidores de ósmosis inversa se efectúa, primero una serie de pretratamientos para, luego, impulsar el agua hacia las membranas; pero a pesar de los filtros, las finas partículas del agua bruta causan efectos nocivos en las membranas, porque la solución adoptada no ha sido la idónea. En efecto, el tema de los sondeos previos para localizar las mejores tomas de agua por filtración en pozos fue, desde un principio problemáti-

²² ANTONIO VALERO y otros, *La desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional*, CIRCE, Gobierno de Aragón, 2001, pp. 49-52. «Consideraciones Medio Ambientales».

co. Estos comenzaron a perforarse a mediados de septiembre de 1999 empezando cerca del macizo rocoso de El Roque, en dirección hacia el centro del cauce, con resultado negativo.

Las características geomorfológicas de la zona elegida, la margen izquierda de la misma línea de la desembocadura, a pocos metros del rompimiento de las olas, presentaba un subsuelo de finas partículas. Seguramente debieron formarse paleolagunas costeras «marciegas» que fueron, en diferentes épocas del Cuaternario, acumulando sedimentos, unos estratos areno-limosos muy finos y compactos que dificultan la circulación del agua e incluso detienen el interfaz marino²³. Los primeros 4 sondeos apenas llegaban a filtrar, cada uno, los 20 l/s aunque a medida que se acercaban al centro del cauce, al Charco, eran más fértiles (40 l/s) porque los sedimentos finos disminuían y aparecían capas de aluviones de granulometría superior.

Ante tal adversidad, en enero de 2000 se comenzó a plantear varias alternativas: perforaciones en sección lineal, lo que resultaba muy costoso o la toma directa del mar lo que conllevaría un coste mayor por el pretratamiento y complejos filtrados.

Se optó por seguir con las perforaciones, pasándose a la otra margen del barranco y más lejos de la desembocadura, en la zona del muelle pesquero, donde se experimentó una perforación en la misma plataforma portuaria, con resultados más negativos. Se volvió a la margen derecha del barranco, en el Parque Rubén Díaz, con nuevos sondeos que tampoco dieron los resultados esperados (50 a 60 l/s), uno de los cuales se alejó pocos metros más de la costa y encontró agua dulce contaminada por nitratos. Observamos que los técnicos optaron por acercarse lo más posible a la playa y al lecho del barranco, donde por efecto de las grandes avenidas presentaba un subsuelo de aluviones con texturas de mayor grosor, más poroso y con una mayor capacidad de filtración. Uno de los pozos se perforó casi en el mismo Charco, en el lecho de la desembocadura y resultó ser el más fértil (80 l/s). En agosto de 2000, de los 11 sondeos se tenían 6 de 26 m de profundidad en condiciones de

²³ EQUIPO INTERDISCIPLINAR L'ALDEA 84, *Memoria de Excavaciones paleontológicas en Los Caserones*, Cabildo Insular de Gran Canaria, 1984.

bombeo, con una capacidad total de 200 l/s, la mitad de lo proyectado. En julio de 2001, se llega a la conclusión de que este sistema de captación del agua del mar, en este lugar, no es el óptimo (aunque se matuvo hasta encontrar otras alternativas) por las siguientes razones:

- a) No son muy productivos a consecuencia de las capas de finísimos aluviones y sedimentos que atraviesa.
- b) Generan constantes averías en el sistema de impulsión, a consecuencia de que los finos sedimentos traspasan los filtros y dañan las bombas centrífugas.
- c) En los años de lluvias pueden generarse problemas aún mayores en los momentos en que discurran las aguas pluviales, cargadas de sedimentos arcillosos aún más finos, por la desembocadura del gran barranco, donde se ubican estos pozos, endulzándolas además hasta niveles no experimentados aún (como así ocurrió el 23 de diciembre de 2001 y enero de 2003).

Al respecto existe cierta complejidad científico técnica a la hora de la caracterización en cantidad y calidad de los recursos hídricos subterráneos en contacto con el mar susceptibles de captación del agua bruta²⁴, más aún si no se hacen estudios geológicos precisos y sin el correspondiente estudio de impacto ecológico.

En resumen, el impacto visual de las dos obras de fábrica para las unidades de bombeo es significativo sin unos criterios mínimos de mimetización para su integración en un entorno natural sensible. Los pozos en cuestión se han perforado en una zona de bosques de tarahales de El Charco, cuya masa vegetal casi se ha secado, coincidiendo con los años finales de la sequía; pero, hay que plantearse si tal estrés hídrico acusado tiene alguna relación también con las extracciones y por qué el espacio

²⁴ J. A. LÓPEZ GETA y M. MEJÍAS MORENO, «Las aguas salobres. Una alternativa al abastecimiento en regiones semiáridas», Instituto Geotécnico Minero. *Conferencia Internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos medioambientales, reutilización y desalación*, Zaragoza, 2001.

verde situado un poco más al interior, junto a la planta desaladora no parece afectado.



Uno de los pozos de captación del agua bruta. Arriba, sondeo inicial (1999), y abajo, la obra finalizada (2000).



5.3.3. Los vertidos del agua de rechazo

El agua de rechazo constituye otro de los elementos de impacto de las plantas desaladoras. La tubería de este complejo es común para las dos unidades y desaloja la salmuera hasta la orilla del mar aunque está preparada para enlazar con el emisario submarino, actualmente en construcción, de la EDAR de San Nicolás, consistente en un colector submarino que alcanzará unos 150 metros mar adentro.

Las corrientes dominantes a lo largo del año, en la playa de La Aldea (NE-SW, a excepción de los tiempos de lluvia de trayectoria de SW), conllevan un gran hidrodinamismo, lo que favorece mucho la disolución de la salmuera vertida, aunque el problema mayor estaría en los residuos químicos del pretratamiento.

Problema mayor fue el generado en las pequeñas desaladoras de agua salobre del interior, tanto en las extracciones masivas del acuífero como en los vertidos sin control de la salmuera.

Los pocos estudios de impacto disponibles actualmente en la literatura de la desalación indican que los vertidos de plantas desalinizadoras han generado, en algunas zonas costeras reducciones de la población de peces, mortalidades de plancton y corales, y contaminación de los fangos por cobre y níquel; aunque hay casos donde la salmuera puede generar un mayor desarrollo de algunas especies. Estudios recientes realizados en los vertidos de algunas desaladoras del Mediterráneo han aconsejado evitar tales vertidos de salmuera en bahías cerradas y sistemas con valor ecológico y situarlos en zonas con un hidrodinamismo medio o elevado que facilite la dispersión de la salmuera, entre otros, no obstante se investiga en los posibles impactos, interacciones y los límites de tolerancia²⁵. Por tanto, en este caso y en el resto de los vertidos de salmuera en las costas canarias son igualmente necesarios estudios de impacto.

²⁵ ESPERANZA GACIA y ENRIC BALLESTEROS, «El Impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino», *Conferencia Internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos medioambientales, reutilización y desalación*, Zaragoza, 2001.

6. NUEVOS PROBLEMAS TÉCNICOS

Retomemos el hilo cronológico del proceso de desalación objeto de nuestro estudio. Una vez puesta en funcionamiento las dos plantas se fueron generando una serie de problemas técnicos, aparte los propios de una obra en período de ajustes y garantía. En primer lugar se sitúa la problemática energética y de fuerza motriz (la red de fluido eléctrico público continúa aún sin reforzarse). Las obras del tendido subterráneo de Agaete-La Aldea ni siquiera había comenzado en 2001 con lo que se mantenían los generadores accionados por motores fijos de gasóleo que gastan al día 900.000 pesetas en carburante, además del cambio de filtros de aire y aceite, con un coste de 200.000 pesetas, sin contar con el mantenimiento aún en el período de garantía.

La mayor parte de los problemas generados en las dos plantas desaladoras ha sido por condicionantes técnicos y ecológicos externos a la misma, dada la rapidez con que se realizó esta obra frente al condicionante social de la necesidad de producir agua para paliar el grave estrés hídrico y parte de éstos se sobredimensionaron:

- 1.º Avería grave del generador de la planta pública el 8 de marzo de 2001, en un momento de máximo gasto de agua que alarmó a los agricultores y población²⁶. Fue a consecuencia del rotura de una de las válvulas de admisión del motor, lo que produjo la inmediata perforación de un pistón y culata, por razones técnicas desconocidas. Dejó la planta paralizada durante casi 15 días ya que se tuvo que fabricar, sobre la marcha, la pieza de recambio en Alemania.
- 2.º Avería del mismo motor del generador de la planta pública, que se paralizó del 9 al 11 de julio de 2001.

²⁶ Periódico *Canarias 7*: «Una avería en el generador paraliza la desaladora del Consejo Insular de Aguas. El Consistorio ha pedido a la población paciencia y ahorro en el consumo», miércoles 14 de marzo de 2001.

- 3.º Paralización completa de la dos plantas a las 10 horas del día 12 de julio de 2001 por rotura de la conducción principal por donde se impulsa el agua producida hasta el interior del valle. Esta rotura se debió al impulso de una pala mecánica en la cimentación de las obras de cerramiento del solar de depósitos de residuos agrícolas, ubicado al lado del Punto Limpio, a unos 500 metros aguas arriba de la Planta Desaladora.
- 4.º Problemas continuos en los filtros del aire de los motores de los dos generadores, a consecuencia del polvo que genera el viento alisio entre primavera y verano.
- 5.º Problemas ocasionados por las estudiadas finas partículas que contiene el agua de mar extraída en los pozos, a consecuencia de las características del subsuelo; inciden tanto en las bombas de impulsión de estos pozos como, en su momento, sobre los filtros de la desaladora.
- 6.º Rotura del colector de la salmuera a 100 m del litoral, el 23 de julio de 2000, por obstrucción en la desembocadura a causa del oleaje. Consecuencia: salinización del agua captada por los pozos perforados en las inmediaciones.

Entre octubre y diciembre de 2001 las dos plantas funcionaron casi a pleno rendimiento. La pertinaz sequía continuaba pues las lluvias de otoño no hicieron su deseada aparición y los agricultores se preparaban para afrontar con dificultad el último tramo de la zafra con sólo la producción de agua desalada. Era el momento en que la sociedad aldeana valoraba más que nunca la instalación de estas dos plantas desaladoras, sobre todo en algunos momentos de este trimestre en que una u otra se paralizaba algún día por problemas de los grupos electrógenos, ya que la línea de fluido eléctrico público que llega a este pueblo aún no se había reforzado. Esta dificultad venía encareciendo el precio del agua producida por el gasto del gasóleo, situado alrededor de las 7.000 pesetas la hora de agua de 10 l/s (36 m³), es decir a unas 195 pesetas el m³. Este era el precio medio fijado por el Consejo Insular de Aguas entre las dos plantas porque el agua producida por la planta de los agricultores era sensiblemente

inferior, tanto por el ahorro energético del Sistema PES como por el del propio diseño de la planta.

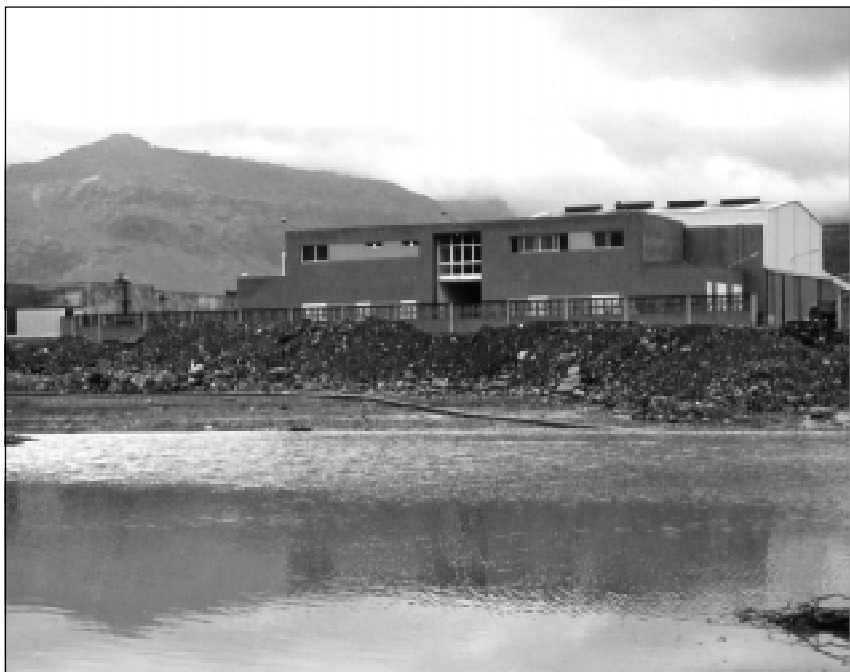
Ante la escasez del elemento el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria decide que el sobrante del abasto municipal en la planta pública se vendiera solamente a los productores de tomateros, con lo que los cosecheros de hortalizas y frutales, algunos con parcelas en producción desde hacía medio siglo, se fueron quedando sin riego, con el consiguiente malestar.

Pero la mayor crisis de la desalación vino a resultar, paradójicamente, con la presencia de las deseadas lluvias. A partir de la madrugada de 22 de diciembre de 2001 comenzó a afectar en la banda sur de Gran Canaria un fuerte temporal de trayectoria suroeste que se acentuó en la noche siguiente con una fuerte tromba torrencial en la parte baja del valle. La riada de turbias aguas llegó hasta el mar e inundó los alrededores de la planta desaladora y los pozos de captación de agua. El hecho se volvió a repetir en diciembre-enero de 2003. En ambos casos las dos plantas quedaron inoperativas varias semanas por la contaminación de los pozos de captación dada la enorme cantidad de lodo, arena y barro que arrastraron las aguas del barran-



Pozo de captación tras la inundación de 23 de diciembre de 2001.

co, con los problemas que ello acarreó. Se confirmó la hipótesis, este modelo de captación no es seguro y problemático en muchos aspectos.



Efectos de la riada de 23 de diciembre de 2001. El barranco, junto a la desaladora con el caudal disminuido.

7. SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Cada uno de los proyectos de las dos plantas desaladoras recoge un sistema de recuperación de energía. Uno, consistente en una turbina tipo *Pelton*, acoplada al eje del motor que aprovecha la presión del rechazo, con un ahorro del 35 al 40% e instalado en la planta pública y, el otro, un sistema de optimización de la recuperación de energía, «PES», aplicado en la unidad de los agricultores que estudiamos con más detalle por estar menos generalizado y producir un mayor ahorro energético, casi del 98%.

Desde el primer momento en que empezó a construirse la planta desaladora de los agricultores, a propuesta de *Tedagua* se recibió la oferta de la empresa alemana *Siemag* sobre la instalación de un sistema cambiador de presión «PES», para la recuperación de energía, por un presupuesto de 60 millones de pesetas. Los trabajos de integración de este sistema cambiador de presión comenzaron a realizarse a principios de junio de 2001, bajo el control de *Tedagua*. Se conectó con el sistema de control general mediante un interfase en paralelo, sin modificar la instalación base, ya que estaba prediseñada para ello. Su puesta en funcionamiento tuvo lugar el 23 de julio de 2001 con éxito.

Es conocido como *Sistema Modificador de Presión* «PES». Y responde a los avances técnicos de los convertidores hidráulicos que por el principio del desplazamiento positivo presurizan parte del agua bruta con la salmuera a presión rechazada en el proceso.

En concreto este sistema permite la adaptación a volúmenes de descarga variable con un rendimiento hasta del 98%, aproximadamente, gracias a su diseño y a la transmisión directa de la presión (que trae el agua de rechazo cuando sale del módulo de ósmosis inversa) al agua de mar para alimentación. Y suele acoplarse a plantas desaladoras con capacidad superior a 2.000 m³/día²⁷.

En su aspecto externo lo conforman básicamente tres cámaras cilíndricas con válvulas, conectadas en paralelo y una bomba auxiliar, que se acoplan a los bastidores de la planta desaladora (fotografía). El proceso de recuperación de la energía que trae el agua de rechazo es el siguiente:

En estas plantas convencionales de ósmosis inversa el agua del mar se capta en los pozos con una bomba de alimentación

²⁷ Se utiliza desde hace más de 20 años en otros campos de la industria y minería. Se ha venido aplicando con éxito en los últimos años en plantas de ósmosis inversa de la isla de Lanzarote, para la desalación de agua de mar. *Siemag* había aplicado en aquel momento el sistema en 16 equipos por todo el mundo, automatizados, aplicados a volúmenes hasta 1.400 m³/h y presiones de 16 MPa, en variados frentes de la industria, tales como hidrotransporte de sólidos, refrigeración de minas, transporte descendente (*tallings* en Chile), ósmosis inversa, etc.

y se impulsa a la zona de pretratamiento (esquema 1). Con el sistema PES, tras el tratamiento, el flujo del agua del mar se reparte en dos caudales diferentes, dependiendo del coeficiente de conversión de la planta de ósmosis inversa. El caudal más pequeño se dirige a la bomba de alta presión mientras que el mayor, con el mismo volumen que el del agua rechazada que sale de los módulos de ósmosis inversa se presuriza con el cambiador de presión.

La presión de rechazo que sale de los módulos se transmite directamente al agua. Las pérdidas de presión en los módulos de ósmosis inversa, en las tuberías y en el sistema PES se compensan con una pequeña bomba auxiliar. El funcionamiento del cambiador de presión se explica ayudado por el esquema 2 (una cámara, principio del cambiador de presión) y el 3 (tres cámaras acopladas que producen un flujo de salida constante). La cámara se llena en un principio con agua de mar a baja presión con las válvulas V1 a V4 cerradas. Se presuriza abriendo una válvula *by-pass* y a continuación las válvulas V1 y V3. Del módulo de ósmosis llega el agua de rechazo a presión y penetra en la cámara, empujando el agua del mar hacia la bomba auxiliar y de allí a los módulos de ósmosis inversa.

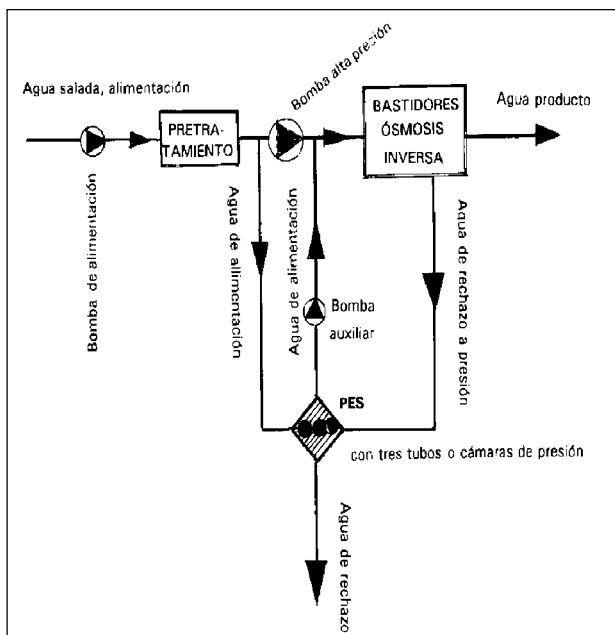
Cuando la cámara está totalmente llena de agua de rechazo, se cierran las válvulas V1 y V3 y se despresuriza. Se abren las válvulas V2 y V4 y comienza de nuevo la entrada de agua de mar a baja presión que, al mismo tiempo, empuja el agua de rechazo y la expulsa de la cámara al colector de salida. Se repite el ciclo.

Una sola cámara trabajaría con ritmo discontinuo y tres conforman un flujo de salida constante.

Aparte la recuperación del 98% de la energía, este sistema es muy flexible con el volumen de alimentación que debe ser presurizado, lo que es susceptible de emplearlo para dos o tres líneas de ósmosis inversa en paralelo. Y cuanto mayor sea la presión de trabajo en la ósmosis, mayor es la recuperación de energía mediante el cambiador de presión²⁸.

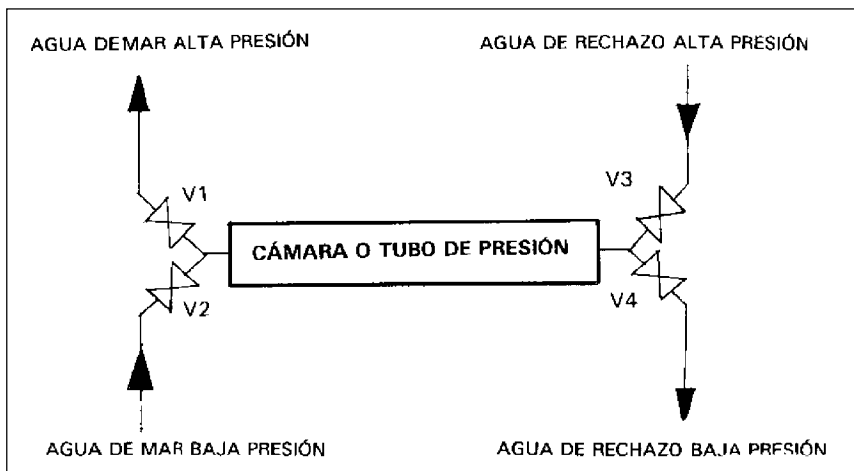
²⁸ P. GEISLER Y TH. PETERS, *Optimización de la recuperación de energía en plantas desaladoras por medio de ósmosis inversa. Sistema de cambiador de presión «PES»...*, 1999. Referencias bibliográficas citadas en el mismo:

Por último, en el proyecto de recuperación energética y búsqueda de otras soluciones de energía no convencional para esta desaladora, aparecen los planes recientes (2003) para crear un parque eólico a 1,5 km, en el interior del valle, en la zona de Las Tabladas, que conectaría con el nuevo trazado de la red pública que baja por el barranco de Furel.

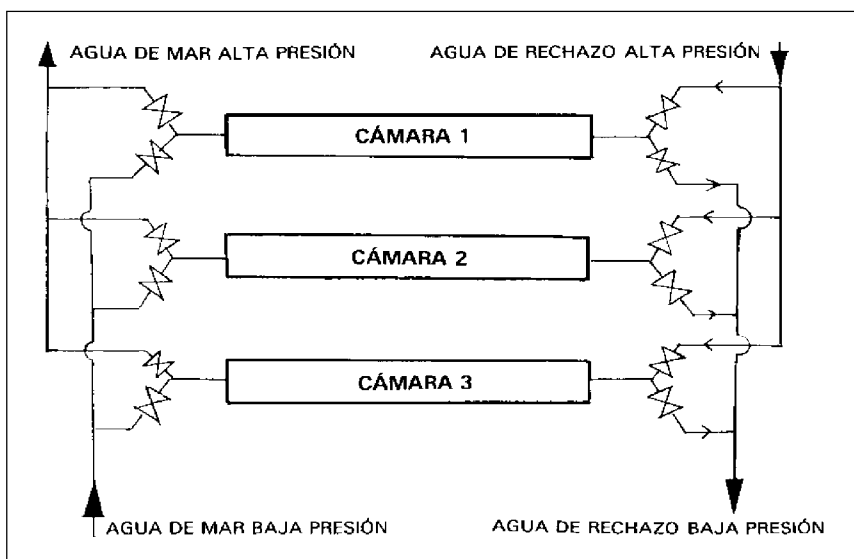


ESQUEMA 1.—Desaladora con sistema de presión PES.
Modificado de Geisler y Peters, 1999.

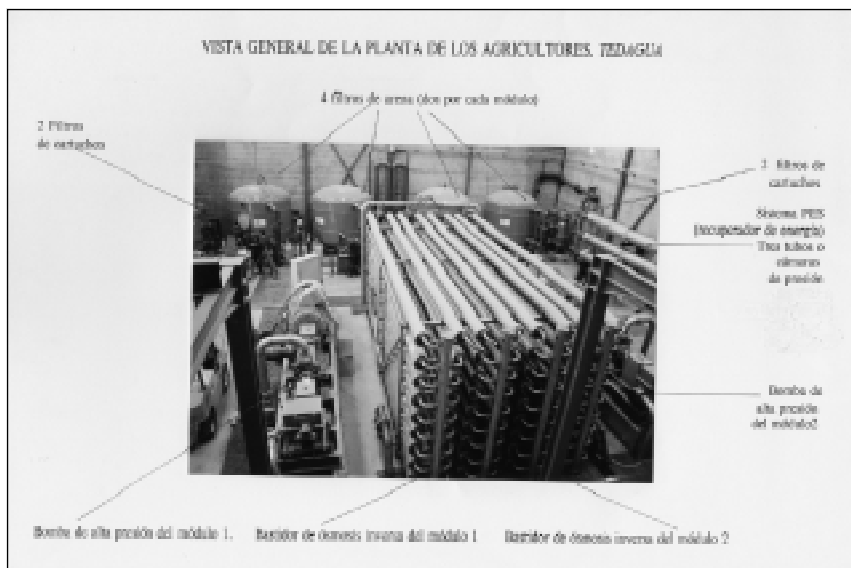
W. KRUMM, F. U. HAHNENSTEIN, G. FUNK y P. GEISLER, *The Three-Chamber-Pipe Feeder an efficient energy recovery system for reverse osmosis desalation plants*. Proceedings of the Med. Conf. on Renewable Enmergy Source for Water Production, Santorini, 1996. F. NOACK, *Mathematische Modellierung einer Meerwasser-Entsalzungsanlage*, Diplomarbtl Universitat Siegen, Siegen, 1995. TH. PETERS, *Improvement of the efficiency in sea water desalination wit reverse osmosis through DT-module technology from Rochem*, Preprint lecture group «water as a resource, ACHEMA 94, Frankfurt, 1994. J. RIBERO, *Desalination Tchonology - Suvery anda Prospects*. European Comision, Joint Research Centra Institute for Prospective Technological Studies, Sevilla, 1996.



ESQUEMA 2.—Principio básico de funcionamiento del cambiador a presión de una cámara PES.



ESQUEMA 3.—Sistema configurado PES con tres cámaras para lograr un flujo de salida constante. Modificado de Geisler y Peters, 1999.



8. CONCLUSIONES

Parece extraño que una sociedad agrícola innovadora, como la de La Aldea, no se haya sumado a los primeros proyectos insulares de la desalación teniendo un litoral tan cercano a su medio de producción. Pero este retraso es debido a varios factores: disponer de significativos recursos hídricos naturales (presas y pozos) pero agotables en largos ciclos de sequía y no prevenir tal agotamiento con la simple observación-análisis de los hechos históricos e instalando a su debido tiempo las nuevas tecnologías en desalación, frente a voces de opinión contrarias que sólo perseguían objetivos personales.

La desalación de agua de mar se asume apresuradamente, con todas las consecuencias de encarecimiento económico y problemas tecnológicos, en un momento de grave crisis hídrica y económica, habiendo perdido un tiempo de más de cinco años en los que sosegadamente se pudieron realizar proyectos coherentes y rentables de desalación de agua de mar. A todo lo cual se unen complicados condicionantes técnicos, ecológicos y sociales que se dan en el diseño y ejecución de este proyecto. Estuvo

condicionado fuertemente por un tiempo de ejecución lo más corto posible, primavera-verano de 2000, para hacer frente a la escasez de agua para riego agrícola y abasto público; el proyecto técnico fue continuamente modificado por circunstancias del espacio, de la premura del tiempo, de la tecnología y las innovaciones; por unas condiciones ecológicas imprevistas inicialmente por la mencionada premura implícita y por una compleja situación sociopolítica local e insular, además de otros intereses difíciles de precisar.

La ejecución de este proyecto común de desalación se realizó en tiempo récord, para producir 10.000 m³/día, por ósmosis inversa, con un coste final de más de 1.200 millones de pesetas, procedente de capitales públicos, privados y subvenciones europeas. A lo que se unen otras circunstancias de ejecución con propietarios diferentes, aunque con un objetivo común: regar los cultivos y abastecer la población, bajo una fuerte presión social y política, frente a unos condicionantes ecológicos que van retrasando y dificultando el avance de la obra. Éstos son: vientos alisios frente a operaciones estructurales de las naves; terreno accidentado para trazar nuevo tendido de alta tensión por insuficiencia de la red pública de fluido eléctrico; subsuelo del litoral no idóneo para la captación del agua bruta con efectos negativos sobre las bombas de impulsión de los pozos, filtros y membranas de la ósmosis en las plantas; condicionantes negativos inherentes a la premura con que se planifica el proyecto con empresas adjudicatarias distintas y carencia de suficiente fluido eléctrico público que obliga a montar varios grupos de generadores independientes accionados por motores fijos de gasóleo, lo que encarecen el coste del agua producida y constantes averías en el sistema.

Además se presentan unos condicionantes sociales y políticos complejos tales como el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria que proyecta una planta desaladora pública para abasto de la población, las cooperativas y empresas locales que proyectan otra planta en el mismo lugar y que finalmente se integran en un proyecto común. En éste subyacen recelos entre las empresas adjudicatarias, las cooperativas entre sí y con el Ayuntamiento que actúa como mediador.

Las dos plantas quedaron en operatividad, a pleno rendimiento, aunque no exentas de problemas técnicos y con alguna innovación energética a principios de 2001, con una producción de 11.000 m³/día (el 75% de las necesidades del valle) y conectada a la infraestructura de regulación de riego preexistente del valle (canales y acequias de la Comunidad de Regantes, estanques reguladores y bajantes privados, etc.). En aquel momento de máxima operatividad se habían agotado casi por completo los recursos convencionales de captación de agua (presas y pozos). Se había salvado la temporada agrícola y el futuro inmediato; pero las correcciones de su impacto ecológico, tanto en el paisaje como en los ecosistemas, ni siquiera se han estudiado.

No obstante, como lección histórica, la desalación de agua de mar se había convertido en la forma más segura de asegurar el regadío del futuro de La Aldea de San Nicolás, algo consolidado en otras partes de una Isla seca cuyo acuífero tan sobreexplotado y degradado comienza ahora a recuperar niveles para en un futuro explotarlo de manera sostenible.

9. FUENTES

9.1. *Fuentes orales y colaboraciones*

ISIDRO ESPINO MATÍAS, licenciado en Derecho, administrativo de COPAISAN, responsable de esta cooperativa en la comisión de seguimiento de la construcción de la planta desaladora.

JOSÉ MIGUEL RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, primer teniente de alcalde y concejal de Obras y Medio Ambiente, coordinador del proyecto común de desalación.

PEDRO SÁNCHEZ OJEDA, ingeniero técnico agrícola, presidente de Foresta, ex presidente de COPAISAN.

JACINTO SUÁREZ GODOY, director general de COAGRISAN.

CELESTINO SUÁREZ ESPINO, alcalde de La Aldea de San Nicolás, director general de COAGRISAN, ex presidente de la Comunidad de Regantes Aldea de San Nicolás.

JOSÉ RODRÍGUEZ FRANCO, presidente de COPAISAN, ingeniero industrial.

FRANCISCO HERRERA, operario de distribución de aguas de la desaladora.

9.2. Fuentes escritas

A) Archivo del Ayuntamiento de San Nicolás

- *Proyecto de construcción de la «Potabilizadora de San Nicolás de Tolentino», 1999.*
- Estudio detallado de Impacto Ecológico del *Proyecto de construcción de la «Potabilizadora de San Nicolás de Tolentino», 1999.* Autores: Eric Landrau y otros. Promotor: Cabildo Insular de Gran Canaria. Sociedad de Promoción Económica de Gran Canaria.
- Sección Gabinete de Prensa. Archivo de prensa diaria 1997-2001. Album de fotografías de la construcción de la Desaladora.

B) Archivo de la Comunidad de Regantes La Aldea de San Nicolás

- Archivarior con partes mensuales enviados al Servicio Hidráulico sobre reservas y entrada de agua a las presas. Armario de administración.
- Libro de actas de la Junta General (1991-2000). Armario Secretaría.
- Proyecto de Desaladora San Nicolás, 1995.

C) Archivo de COPAISAN

- *Propuesta para un sistema de ósmosis inversa con capacidad para producir 5.400 m³/día de agua potable partiendo de agua de mar*, redactado por *Tedagua*. Polígono Industrial de Arinaga, 29 de marzo de 1999. En proyecto desalación suscrito por *Tedagua* con Coagrisan, Copaisan Silvestre Angulo, Sat Furel, Juan Delgado y Lomo del Trigo, en documento público notaría de Don José Luis Pardo. Sta. María de Guía. 20 de abril de 1999

9.3. Prensa

- *Hoja informativa La Aldea de San Nicolás de Tolentino.* Revista del Gabinete de prensa del Ayuntamiento de La Aldea de San Nicolás, núms. 2 al 16 (1999-2001).
- *La Provincia-Diario de Las Palmas.* Las Palmas de Gran Canaria.: 23-08-2000, 16-10-2000, 06-04-2001, 06-04-2001, 27-03-2001, 24-06-2001, 25-06-2001, 11-03-2003 y 27-04-2003.

- *Canarias*7. Las Palmas de Gran Canaria: 08-08-1998, 04-09-1998, 28-10-1998, 13-10-1998, 28-10-1998, 20-10-1998, 14-11-1998, 21-11-1998, 17-12-1998, 16-01-1999, 02-01-1999, 06-02-2000, 21-10-2000, 24-10-2000, 26-03-2001, 12-04-2001 y 20-VI-2003.
- *El Día*. Santa Cruz de Tenerife: 20-10-2001.

9.4. Referencias básicas en la web

- <http://hispagua.cedex.es/Grupo1/Documentos/desalacion/especial.htm>
- <http://circe.cps.unizar.es/waterwed/index.html>
- <http://www.aedyr.com> (Asociación Española de Desalación y Reutilización AEDyR).
- <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.html>

9.5. Referencias bibliográficas

- CASAÑAS, E.: «Aplicación de energías alternativas al agua», en *II Jornadas de Agricultura y Medio Ambiente. El Agua*, Ayuntamiento de La Aldea de San Nicolás, 1988.
- CALERO PÉREZ, R., y MENÉNDEZ SOSA, A.: «Experiencias en la desalación con energías renovables en Canarias. Instituto Tecnológico de Canarias», *Conferencia Internacional el Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos medioambientales, reutilización y desalación*, Zaragoza, 2001.
- DOMÍNGUEZ, E., BARBER MEDINA y GONZÁLEZ ALEDO: «Contenidos de nitratos en las aguas subterráneas y embalsadas de Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote», en el *Boletín informativo de los Colegios Oficiales de Farmacéuticos de Tenerife y Las Palmas*, 10, 1993, pp. 25-28.
- DELGADO MANGAS, F.: «Los procesos de salinización del agua subterránea en el acuífero de La Aldea de San Nicolás», en *Vector Plus*, Fundación Canaria Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, enero-junio de 2001, pp. 44-53.
- GACIA, E., y BALLESTEROS, E.: «El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas», en *Conferencia Internacional. El Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua*, CIRCE, Gobierno de Aragón Zaragoza, 2001 (<http://circe.cps.unizar.es/waterwed/index.html>).
- GEISLER, P., y TH. PETERS: *Optimización de la recuperación de energía en plantas desaladoras por medio de ósmosis inversa. Sistema de cambiador de presión «PES»*, 1999.
- GERARD KIELY: *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Traduc. de José Miguel Veza, Madrid, 1999, pp. 355-406 y 593-759.

- GONZÁLEZ MORALES, A., y CARRETERO MORENO, M.: «Los condicionantes ecológicos en el desarrollo de la agricultura en el valle de La Aldea», en *XII Coloquio de Historia Canario-Americana, 1996*, artículo de González y Carretero sobre el valle de La Aldea, tomo I, p. 82.
- Libro Blanco del Agua en España*, Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2000.
- LÓPEZ GETA, J. A., y MEJÍAS MORENO, M.: «Las aguas salobres. Una alternativa al abastecimiento en regiones semiáridas», en *Conferencia Internacional. El Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua*, CIRCE, Gobierno de Aragón Zaragoza, 2001 (<http://circe.cps.unizar.es/waterwed/index.html>).
- MACÍAS HERNÁNDEZ, A. M.: «Del Jardín de las Hespérides a las Islas Seditas. Por una historia del agua de Canarias, C. 1400-1990», en *El agua en la Historia de España*, Universidad de Alicante, Salamanca, 2000, pp. 169-269.
- MAC-21. *Proyecto de Planificación y Explotación de los Recursos del Agua en el Archipiélago Canario*, Comisión Interministerial Coordinadora de las actuaciones del Estado en Materia de Aguas en las Islas Canarias, 1980.
- Mapa geológico de España. ITGE. Escala 1:25.000. San Nicolás de Tolentino. 1.108-11-111. 81/84., 82/84*, Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 1992.
- MARTÍN RUIZ, J. F.: *Geografía de Canarias*, Cabildo de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, pp. 135-136.
- MEDINA SAN JUAN, J. A.: «La Desalación en España. Situación Actual y previsiones», en *Conferencia Internacional: El Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua*, CIRCE, Gobierno de Aragón Zaragoza, 2001 (<http://circe.cps.unizar.es/waterwed/index.html>).
- PÉREZ ARTELES, J.: *Development, Cooperation and Differentiation in an Agrarian Economy: La Aldea, Gran Canaria*, tesis doctoral (inédita), Universidad de Manchester, Gran Bretaña, enero, 1994.
- Plan Hidrológico de Gran Canaria*, Cabildo Insular de Gran Canaria, 1995.
- IDEM: «Inventario de Captaciones de agua subterránea. Zona Oeste. Memoria y Planos. Ficha de datos», inédito.
- Proyecto SPA-15. Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias*, M.O.P., Madrid, 1975.
- RÍOS NAVARRO, M.: «Agua y energía: más unidos aún en el futuro», en *Dinámica. Revista de Ingeniería Canaria*, núm. 9, 1987.
- SUÁREZ MORENO, F.: *El Pleito de La Aldea: 300 años de lucha por la propiedad de la tierra*, Santa Cruz de Tenerife, 1990.
- ÍDEM: *Ingenierías históricas de La Aldea*, Cabildo de Gran Canaria, Madrid, 1994.
- RODRÍGUEZ BRITO, W.: *Agua y agricultura en Canarias*, Centro de la Cultura Popular Canaria y Gobierno de Canarias, 1996.
- ÍDEM: *El agua en Canarias y el siglo XXI*, Cabildo de Gran Canaria, 1995.
- ÍDEM: *Canarias: Agricultura y ecología*, Santa Cruz de Tenerife, 1992.

- SANTANA SANTANA, A., y NARANJO CIGALA, A.: *El Relieve de Gran Canaria*, Las Palmas de Gran Canaria, 1992.
- VALERO, A.; UCHE, J., y SERRA, L.: *La Desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional CIRCE*, Universidad de Zaragoza-Gobierno de Aragón, enero de 2001, pp. 10-96 (<http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.html>).
- ZAPATA HERNÁNDEZ V.: «Aguas», en *Gran Enciclopedia Canaria*, Ediciones Canarias, tomo I, Santa Cruz de Tenerife, 1994, pp. 128-132.