

INTRODUCCIÓN	3
BREVE INTRODUCCIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA CANARIA	4
COMENTARIO SOBRE LOS RECURSOS NATURALES DISPONIBLES Y SU EVOLUCIÓN	6
NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA	8
FUENTES DE PRODUCCIÓN DE AGUAS	9
DEMANDAS SECTORIALES	10
IMPLICACIONES AMBIENTALES	12
<i>Sobreexplotación de recursos naturales</i>	12
<i>Demanda energética y dependencia del exterior</i>	13
NUEVOS MODELOS DE GESTIÓN	15
SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA	15
ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DEL AGUA	19
PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURA	20
Reparación de redes y eliminación de fugas	21
Localización y eliminación de tomas ilegales.	21
Universalización de contadores individuales	22
Reducción de presiones de suministro	22
Gestión informatizada de redes	24
PROGRAMAS DE AHORRO	24
Programas de concienciación ciudadana	24
Programas de tarificación	28
PROGRAMAS DE EFICIENCIA	29
Programas residenciales para usos interiores	30
Programas de jardinería y otros usos residenciales exteriores	31
Programas comerciales, industriales e institucionales	32
PROGRAMAS DE SUSTITUCIÓN	32
CICLO INTEGRAL DEL AGUA: ¿SISTEMAS CENTRALIZADOS O DESCENTRALIZADOS?	34
PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN SOBRE LOS SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURAL	38
Sistemas de depuración natural (sdn): una alternativa complementaria	38
Productos y usos de los SDN	41

Una tecnología que demanda cambios conceptuales	43
PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DEPURADORAS NATURALES	45
Los elementos de los que consta una depuradora	45
Principios de funcionamiento de las depuradoras naturales	48
Integración de la depuradora en el ciclo global de nutrientes de la finca	50
Recursos biológicos que intervienen en el proceso de depuración	53

EL AGUA EN CANARIAS. MODELOS DE GESTIÓN Y TECNOLOGÍAS HACIA LA SOSTENIBILIDAD.

Introducción

Una de las características determinantes del recurso agua y su gestión, es que no se pueden hacer generalizaciones ni aportar datos globales, sin mostrar una visión errónea de lo que ocurre en la realidad del ámbito local. Este hecho se ve acentuado en Canarias de forma importante. El hecho insular y la necesidad de realizar una gestión autosuficiente, totalmente independiente del resto del archipiélago, así como las diferencias de la propia configuración insular en cuanto a sus características físicas, demográficas y económicas, así lo obligan. Es por ello que este documento sólo pretende hacer una aproximación a la realidad de cada una de las islas aportando una serie de datos básicos. Estos son :

- Breve introducción a la hidrogeología canaria
- Comentario sobre los recursos naturales disponibles y su evolución
- Nuevas tecnologías para la producción de agua
- Fuentes de producción de aguas
- Demandas sectoriales
- Implicaciones ambientales

Es necesario advertir que también al aportar datos, aunque sean del ámbito insular, también se cae en el error de la generalización. Para afinar más habría que bajarse al nivel de la cuenca hidrográfica o área concreta.

Breve introducción a la hidrogeología canaria

Las Islas Canarias son de origen volcánico y con un substrato geológico heterogéneo y variable, motivado por los diferentes episodios de su formación con coladas de naturaleza y características diferentes, intercalación de depósitos piroclásticos y de sedimentación, la existencia de diques (fisuras de inyección de coladas entre los materiales preexistentes y que hoy en día forman tabiques verticales impermeables), etc. Por todo ello resulta imposible suponer un comportamiento local predeterminado de la circulación de las aguas. No obstante analizando las dos propiedades fundamentales que van a definir dicho comportamiento, permeabilidad y porosidad, podemos establecer modelos muy simples que, según que islas, tienen fuertes matizaciones pero que sin duda nos sirven para acercarnos un poco más a la problemática insular sobre el agua.

Los terrenos canarios son por lo general bastante permeables, aunque existen, también, amplias zonas ocupadas por formaciones geológicas relativamente impermeables (formación Roque Nublo en Gran Canaria y afloraciones del complejo basal en la Gomera). Por otro lado los subsuelos también suelen almacenar agua con facilidad. Por lo general la estructura geológica de las islas suele responder al siguiente modelo: En la base el denominado "complejo Basal" impermeable, formado por rocas de tipo plutónico y recubiertas de sedimentos y lavas submarinas. Sobre estos se depositan enormes masas de materiales conocidos como los "basaltos antiguos" y que son relativamente permeables. Las formaciones superiores, de escaso espesor en comparación con las anteriores, suelen ser permeables y porosas dejando pasar el agua que se almacena en los "basaltos antiguos". La masa de agua así formada constituye un acuífero que, realmente, no se encuentra definitivamente estancado sino que fluye lentamente por la presión del agua acumulada venciendo la resistencia del terreno a su circulación. Existen tres tipos de acuíferos en Canarias:

Acuífero basal: Acuífero inferior que las aguas de infiltración no pueden sobrepasar, donde se acumulan la mayor parte de las aguas subterráneas de la isla.

Acuíferos colgados: Acuíferos que se han formado por encima del acuífero basal al encontrar las aguas zonas de baja permeabilidad. De escasa importancia comparados con el anterior.

Acuíferos costeros: En las zonas costeras lo común es que el acuífero basal se encuentre sobrenadando sobre el agua marina infiltrada en el subsuelo, y no descansando sobre las formaciones geológicas impermeables. Gran parte del volumen de estos acuíferos se encuentran por debajo del nivel del mar, manteniéndose la calidad de los recursos gracias al lento movimiento del agua en el subsuelo y al lavado resultante de la circulación de agua dulce hacia el mar, así como la menor densidad del agua del acuífero respecto al agua de mar. Existirá, por tanto, una zona de agua dulce, una de mezcla y por último el agua salada, todo ello en un frágil equilibrio.

Las reservas de un acuífero son, por tanto, las masas de agua que en él se acumulan y sus recursos el caudal que lo alimenta y renueva a través de la infiltración. Esta descripción no es realmente aplicable a islas como Lanzarote donde las aguas subterráneas tienen muy poca importancia.

Comentario sobre los recursos naturales disponibles y su evolución

Los recursos naturales disponibles son los que aporta el ciclo hidrológico y el ser humano es capaz de captar para su uso. El aprovechamiento de los recursos naturales hidráulicos del archipiélago se ve condicionado en gran manera por los factores naturales. En general existen tres formas de hacerlo:

Aprovechamiento directo de las lluvias: es la forma más primitiva pero que más imaginación ha derrochado en Canarias tradicionalmente. Así lo demuestran la abundancia de aljibes en las zonas más desfavorecidas o los sistemas de reducción de la evapotranspiración (enarenados) utilizados en Lanzarote. Principalmente en las islas orientales se han utilizado técnicas, como las gavias, que intentan encauzar y remansar el agua de lluvia, provocando la máxima infiltración en terrenos que luego son cultivados.

Captación de aguas superficiales: Este sistema se ve dificultado por la permeabilidad de los suelos, la abrupta orografía de algunas islas, la pequeña dimensión de sus cuencas y la gran cantidad de sedimentos que arrastran las aguas de escorrentía. Aún así estos métodos se han llevado casi hasta sus últimas consecuencias donde se ha podido, como se puede observar en la profusión de presas de Gran Canaria y en menor medida La Gomera, Donde las características del suelo no lo permiten también se han aprovechado estos recursos, mediante la impermeabilización de balsas como en Tenerife y La Palma o mediante charcas sobre terrenos arcillosos como se aplica en las islas más orientales. No obstante, estos métodos, sólo aportan un pequeño porcentaje de la satisfacción de la demanda. En Gran Canaria, que es donde más embalses hay y de mayor capacidad, no llega a suponer el 7 % del agua producida, cuando las condiciones meteorológicas lo permiten.

Captación de aguas subterráneas: Actualmente es el recurso hidráulico más importante en el archipiélago. Su captación se realiza por medio de tres sistemas: manantiales, galerías y pozos. En épocas pasadas, los primeros, constituyeron las únicas fuentes importantes de recursos; hoy son de escasa importancia y en algunas islas casi han desaparecido por completo, aunque existen otras como La Gomera, donde aún suponen la principal fuente de aportación de agua. Las galerías son túneles, de reducida sección transversal, con una sola boca y ligera pendiente hacia ella. En Canarias existen más de 1.500 galerías con más de 2.000 Km. excavados, de los cuáles casi el 80% corresponden a Tenerife. En cuanto a los pozos y sondeos, el otro sistema de captación más importante, destaca Gran Canaria con aproximadamente 1.900 perforaciones. El método de extracción es el bombeo desde, en muchos casos, varios centenares de metros de profundidad.

En Islas como Gran Canaria y Tenerife las extracciones superan en mayor o menor grado a la recarga anual, por lo que las reservas están en progresivo descenso. A causa del descenso del nivel freático de las islas los manantiales y cauces permanentes de agua desaparecen, y los pozos y galerías no suelen mantener los caudales iniciales. Su reperfusión continua permite a veces mantener por más tiempo estos caudales hasta encontrar un límite físico de rentabilidad en que se abandonan. En la explotación de los acuíferos costeros la situación es diferente ya que se explota la salida del acuífero basal al mar sin detrimento fundamental de las reservas, no obstante requiere una explotación cuidadosa ya que romper el equilibrio supone provocar la ruina del acuífero por los fenómenos de intrusión salina.

Nuevas tecnologías para la producción de agua

En la mayoría de las islas Canarias las demandas superan la disponibilidad de recursos naturales, incluso asumiendo que estos son sobreexplotados. De hecho, el consumo de recursos no renovables, por encima de la recarga anual, en Gran Canaria y Tenerife ha provocado que sean cada vez más caros de obtener y de peor calidad, lo cual ha abundado en el déficit hídrico. En cambio en islas como Lanzarote, los recursos disponibles ya de por sí escasos, fueron más que desbordados desde que se produjeron los primeros síntomas de desarrollo socioeconómico asociado al turismo a partir de los años 60.

Así se introducen las técnicas de desalación de agua de mar como medio para equilibrar el déficit hídrico por áreas. En los últimos años y debido a los procesos de intrusión marina y a la existencia aguas contaminadas por procesos de origen volcánico, han proliferado las pequeñas plantas de desalinización de aguas salobres. También asociado al cumplimiento de la legislación vigente en materia de control de vertidos de agua residuales, a las necesidades hídricas de la agricultura y al incremento de precios del agua blanca, en la mayoría de las islas se ha planificado la red de depuradoras de aguas residuales con la idea de aportar nuevos recursos para su reutilización, principalmente en el sector agrícola.

Fuentes de producción de aguas

	SUBTERRÁNEAS	SUPERFICIALES*	DESALACIÓN	DEPURADAS	DEMANDAS Hm ³ /año
LANZAROTE	0,78%	0.78%	84%	17,3%*	17,5
FUERTEVENTURA	34,2%*	11,6%	73%	22% ^{¿?}	15,5 ^{¿?}
GRAN CANARIA	60%*	6,5%	41%	5%	150
TENERIFE	90%*	1%	14%	5%	200
LA GOMERA	75,8%	23,4%	-	0,6%	10
LA PALMA	92,1%	7,4%	-	0,4%	62
EL HIERRO	81%	-	19%	-	2,7

Fuente: Planes Hidrológicos, Dirección General de Aguas, Centro Canario del Agua y Elaboración Propia

*Parte del agua extraída ha de ser desalinizada para su aprovechamiento

**Valores dependientes del régimen pluviométrico anual

^{¿?} Datos a revisar

De este cuadro hay que hacer la observación que en el concepto *Demandas* se incluyen el agua utilizada finalmente, no están contempladas, en principio, las pérdidas que se puedan producir en las redes de transporte y distribución. Tampoco los datos expresados son excesivamente exhaustivos, así que deben tomarse simplemente como referencia y, si es posible, contrastarlos periódicamente, ya que son cifras que en algunas islas están variando rápidamente.

Demandas sectoriales

	URBANO	TURÍSTICO	AGRÍCOLA	INDUSTRIA
LANZAROTE	39,8%	30,8%	24%	5,2%
FUERTEVENTURA	21,9%	16,1%	61,9%	Sin datos
GRAN CANARIA	29,9%	8%	58%	4%
TENERIFE	31,3%	7,9%	57,7%	2,9%
LA GOMERA	11,5%	6,3%	82,1%	-
LA PALMA	10,4%	0,9%	88,6%	-
EL HIERRO	33,3%	-	66,6%	-

Fuente: Dirección General de Aguas

Al igual que las fuentes, las demandas también son dinámicas en el tiempo, por lo cuál es necesario realizar una revisión de los datos aquí aportados para evitar que se obtenga una visión distorsionada de la realidad.

Es muy importante realizar una reflexión sobre el papel que juega la demanda en la gestión del agua. Si entendemos por demanda la cantidad de recurso necesario para satisfacer un servicio hidráulico concreto (asearse, regar un determinado tipo de cultivo, dotar a una industria,...), podremos observar que se trata de un factor enormemente elástico. Dependiendo de factores culturales, tecnológicos e incluso climatológicos, la dotación necesaria para obtener el mismo resultado puede variar considerablemente. Sirva como ejemplo las diferencias en dotaciones habitante/día en cada una de las islas, y dentro de cada isla los distintos volúmenes consumidos en las áreas rurales y en las ciudades. Supuestamente las necesidades básicas de agua en cada área son las mismas, pero la relación cultural con el líquido elemento es enormemente variada. Desde los que tienen una conciencia de escasez del recurso y reconocen su valor, teniendo relación directa con lo que cuesta obtenerla, áreas rurales e islas orientales, hasta los que por razones históricas y ligadas a su propio entorno, tienen la sensación de

abundancia de recurso, ya sea por que realmente es abundante o por que llega hasta las viviendas de forma continua, sin conexión alguna con el coste de producción, islas occidentales y las ciudades.

Este hecho es fundamental a la hora de hablar de sustentabilidad, ya que es la demanda la que marca las necesidades de producción de agua, con lo cual un problema relacionado con el agua se puede intentar resolver aprovechando la elasticidad de la demanda o incrementando la oferta a través de mayor derivación de recursos naturales o por medio de tecnología y fuentes energéticas, independientemente del entorno geográfico que nos ocupe.

Algunos indicadores interesantes nos pueden ayudar definir mejor la demanda de agua en un área determinada:

- % de pérdidas en las redes de transporte y distribución de agua.
- Consumo netos habitante/día.
- Tipos de cultivos y superficies.
- Técnicas de riego utilizadas.
- Reutilización de aguas dentro de procesos industriales o en la agricultura.
- Existencia de tecnologías de eficiencia, aprovechamiento de pluviales y aguas grises.
- Diseño y gestión de zonas verdes.
- ...

Implicaciones ambientales

Entre las implicaciones ambientales de la gestión del agua en Canarias hay que destacar varios apartados:

Sobreexplotación de recursos naturales

Implica principalmente a la sobreexplotación de los recursos subterráneos a través de pozos, sondeos y galerías. Cuando las extracciones globales superan con mucho la capacidad de recarga de los acuíferos, el nivel freático disminuye. Se ven afectados primeramente los manantiales naturales, disminuyendo su caudal o desapareciendo prácticamente, posteriormente las propias captaciones subterráneas han de rediseñarse para mantener los caudales. En general, en relativamente poco tiempo, se generan problemas ambientales y socioeconómicos:

- Agotamiento de galerías
- Abandono de pozos
- Desabastecimiento de las áreas de riego dependientes de cada fuente de suministro
- Incrementos de los precios del agua
- Abandono de la agricultura
- Erosión del suelo
- Deterioro del paisaje
- Disminución de la capacidad de producción del sector primario en las áreas rurales
- Agotamiento prácticamente irreversible de las reservas acumuladas durante largos períodos
- Afección forestal
- Contaminación de los acuíferos costeros por intrusión marina

- ...

Otro aspecto directamente relacionado con la sobreexplotación de los recursos subterráneos y su escasez, es la desaparición de comunidades higrófilas asociadas a cauces permanentes de agua, que aparte de tener un valor escénico y paisajístico tiene un alto interés ecológico. En este caso surgen competencias de uso que desembocan, en algunos casos, en el entubamiento de los cauces ya sea para minimizar pérdidas por evapotranspiración o para darle un uso energético al agua, como ha ocurrido en La Palma, en la Reserva de La Biosfera del Canal y Los Tiles, o en barrancos emblemáticos de Gran Canaria como Guayadeque, Los Tilos , La Mina,... .

En cuanto a la explotación de los recursos superficiales, se puede llegar a producir efectos perniciosos cuando se pretende llevar hasta las últimas consecuencia la regulación de barrancos, de tal forma que desaparecen asentamientos, comunidades vegetales y animales singulares, etc.,.

Demanda energética y dependencia del exterior

A medida que las demandas se incrementan y los recursos naturales renovables y no renovables son incapaces de satisfacerlas, se hace necesario de introducir recursos exógenos. Estos vienen de la mano de las tecnologías de desalación de agua de mar. Por otro lado, el deterioro de la calidad de los recursos subterráneos muchas veces requiere introducir sistemas de desalinización para posibilitar su aprovechamiento. Salvando estos aspectos, la gestión del agua en nuestras sociedades requieren cada vez más recursos energéticos para acciones como la captación de aguas de pozos y sondeos, el transporte y distribución hasta los puntos de consumo, así como para su tratamiento en los sistemas de depuración convencionales.

Haciendo un ejercicio de cálculo, podríamos trasladar estas demandas a equivalentes en energía: Conociendo el consumo específico de los sistemas eléctricos de cada una de las islas, se pueden establecer equivalencias entre m³ de agua producidos y su correspondencia en combustible. En el cuadro siguiente se expone una estimación muy aproximada y sólo para dar idea del orden de magnitud, expresada en toneladas métricas (Tm) del fuel-oil que es necesario importar y quemar cada año para producir el agua demandada. En esta estimación no se ha tenido en cuenta el coste energético asociado al transporte, distribución y depuración posterior del agua.

Estimación de las toneladas de Fuel – oil utilizadas para la producción de agua en Canarias

	DESALACIÓN DE AGUA DE MAR	DESALINIZACIÓN DE AGUAS SALOBRES	EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS	TOTAL
LANZAROTE	11.000	s.d.	-	11.000
FUERTEVENTURA	9.000	1.500	150	10.550
GRAN CANARIA	52.000	6.000	28.000	86.000
TENERIFE	15.000	2.000	8.500	25.500
LA GOMERA	-	-	260	260
LA PALMA	-	-	4.900	4.900
EL HIERRO	200	-	250	450
TOTAL	87.200	9.500	42.060	138.360

Nuevos modelos de gestión

SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA

Desde hace más de quince años, en varios países desarrollados que se enfrentan a serias dificultades en sus abastecimientos hidráulicos, sobre todo en Estados Unidos, se viene desarrollando un vivo debate sobre los criterios y los métodos que deben aplicarse para la utilización de los recursos de agua. Este debate ha puesto de manifiesto los límites físicos, económicos y ecológicos de los enfoques hidrológicos tradicionales, que se centran en la ampliación indefinida de la oferta de agua mediante el desarrollo de los sistemas de captación, producción, regulación, conducción y distribución. En su lugar, está generando una nueva política hidráulica centrada en la gestión de la demanda y la conservación del agua, política que ha quedado ya plasmada en infinidad de intervenciones y actuaciones públicas y privadas.

El concepto de “Gestión de la Demanda de Agua” alude al conjunto de todas aquellas actividades que facilitan la obtención del mayor volumen posible de servicios hidráulicos con la mínima cantidad de agua. El concepto de “Conservación del Agua” responde a un enfoque más amplio: contempla el conjunto de actividades que permiten reducir la demanda de agua, mejorar la eficiencia en el uso y evitar el deterioro de los recursos hidráulicos, y extiende su campo de análisis tanto hacia las raíces técnicas y socioculturales de la generación de la demanda, como hacia la protección de los ecosistemas acuáticos.

España, que habiendo alcanzado un notable grado de desarrollo económico y enfrentándose a problemas importantes en el ámbito hidráulico, ha permanecido hasta el momento prácticamente al margen de los debates internacionales sobre la Gestión de la Demanda y la Conservación del Agua. Es ahora, con la presentación del nuevo plan hidrológico nacional y la política de trasvases y embalses, cuando se ha avivado el debate.

El objeto concreto del presente capítulo se centra en la Gestión de la Demanda y la Conservación del Agua en el ámbito urbano, pero interesa señalar desde el comienzo que este enfoque constituye una parte inseparable de una nueva visión de la política hidrológica global, cuya función es conciliar la satisfacción de los servicios hidráulicos con la defensa y la protección de los recursos naturales, así como garantizar la continuidad en la disponibilidad de recursos hidráulicos a largo plazo, en condiciones adecuadas de seguridad, cantidad y calidad.

En Canarias en general, con mayor incidencia en las islas centrales y orientales, el consumo doméstico ha ido aumentando paulatinamente su importancia respecto a la demanda del sector agrícola. Tendencia esta que no parece que se vaya a modificar en los próximos años, hasta el punto de llegar a suponer casi el 50 % de las necesidades, en islas como Gran Canaria, o incluso superar con creces las del resto de los sectores económicos. Ello indica que, dentro de una política de gestión razonable de los recursos, la gestión de la demanda en el consumo urbano puede jugar un papel esencial en cuánto a la planificación hidrológica. Aspecto este que hasta ahora no se ha tenido en cuenta en ninguno de los planes hidrológicos insulares.

El empleo de sistemas alternativos hacen que el recurso sea cada vez más caro de obtener, costes que a la postre han de ser trasladados al ciudadano. Son requeridas grandes inversiones en infraestructura de desalación que a veces no encuentran la financiación suficiente con el consiguiente retraso en los plazos de ejecución. Por otro lado, el incremento de consumo eléctrico y de combustibles fósiles redundará negativamente en los niveles de contaminación atmosférica de las zonas cercanas a los centros de producción de energía y agua. Otro aspecto a tomar en consideración es la dependencia creciente del exterior (recordar el hecho insular) hacia la que se tiende, sobre todo desde el punto de vista energético.

El agua es un bien indispensable para la vida y para el mantenimiento de ésta en unas condiciones mínimas de calidad. Por tanto, son muchos los campos de nuestra sociedad que dependen directa o indirectamente de este recurso natural: la economía (agricultura, ganadería, industria y el sector turístico comercial), la salud pública, el sostenimiento de un entorno agradable (paisaje, parques urbanos), la contaminación (a mayor volumen de agua contaminado mayor es el problema a resolver),... hasta el estado de ánimo de la población se ve influenciado por su presencia o escasez.

Se trata de un recurso natural escaso y secularmente sobreexplotado. Por contra la población y la demanda siguen aumentando, y no sólo por un incremento cuantitativo de consumidores sino también por una progresión cualitativa de los hábitos de consumo tendentes al derroche y a la falta de conciencia sobre el valor no económico del agua. Si bien, se podría plantear que este incremento del consumo es posible suplirlo con la inversión en más infraestructura al respecto (desalación de agua de mar, desalinización de aguas salobres, depuración, nuevas conducciones o trasvases, estaciones de bombeo, capacidad de almacenaje, etc.). Llegado a un punto esta tendencia se hará económica y medioambientalmente inviable, por los costes de ubicación, equipamiento, energéticos y ecológicos que esto supondría.

Las infraestructuras comentadas convierten al agua consumida en Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura en equivalentes en petróleo y sus consecuentes costes indirectos: contaminación atmosférica, ampliación e instalación de nuevas centrales térmicas, riesgos del transporte de crudo a través del mar y por supuesto una mayor dependencia del exterior lo que estratégicamente parece bastante peligroso, sobre todo desde el punto de vista insular.

Por todo ello se plantea que hay que potenciar también los recursos propios haciendo un uso razonable y moderado de los mismos, sin alimentar la expectativas de un mayor consumo, por que el problema del agua esté temporalmente "solucionado" cuando haya caído del cielo o por la infraestructura de turno.

Preservar para las generaciones futuras unos recursos, una infraestructura, una cultura del agua heredada debe ser la razón de ser de la aplicación de SGDA en Canarias. Los beneficios finales serían:

- Reducción de las extracciones de recursos no renovables y por tanto permitir la recuperación de los niveles freáticos.
- Posibilitar que haya mayor disponibilidad de recurso para otros usos (agricultura, industria, reforestación, restauración paisajística,...) que, directa o indirectamente, son activadores de la economía.
- Paliar las situaciones de escasez estacionarias que se viven cada año en la época estival.
- Retrasar la necesidad de acometer nuevas inversiones en infraestructura de producción, transporte, distribución y depuración de agua.
- Reducir los consumos energéticos y con ello la contaminación atmosférica a nivel global y local.
- Equilibrar la dependencia del exterior y adaptar la demanda a los recursos disponibles.
- Servir de efecto demostrativo y laboratorio de ensayo de la metodología empleada, para trasladar la experiencia y los resultados.
- Poder cuantificar y asegurar resultados de forma que la gestión de la demanda se pueda incluir en la planificación de hidrológica como una acción más a realizar, con el mínimo de incertidumbre.
- Mantener y potenciar el legado de la [CULTURA DEL AGUA](#).

ESTRUCTURA DE UN PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DEL AGUA

Un Programa de Conservación del Agua es una iniciativa que persigue la realización de un conjunto amplio de actuaciones orientadas a reducir la demanda de agua, mejorar la eficiencia en el uso y evitar el deterioro de los recursos hidráulicos en un determinado ámbito territorial y sectorial. Las diversas actividades que cabe contemplar en un Programa de Conservación se articulan en forma de programas sectoriales o subprogramas, los cuales, atendiendo a sus contenidos, pueden ser clasificados en cinco grupos:

- **Programas de Infraestructura**
- **Programas de Ahorro**
- **Programas de Eficiencia**
- **Programas de Sustitución**
- **Programas de Gestión**

Los **Programas de Infraestructura** son aquellos que persiguen la puesta a punto del sistema básico de distribución para reducir las pérdidas en las redes y para posibilitar el control del consumo de agua que realizan los diversos grupos de usuarios.

Los **Programas de Ahorro** son aquellos que persiguen una reducción del consumo de agua sin que medien intervenciones técnicas sobre los sistemas de suministro o sobre los equipos o dispositivos de consumo. Básicamente son de dos tipos: los que intentan estimular el ahorro voluntario de agua reforzando la concienciación ciudadana, y los que actúan sobre los precios del agua para disuadir el despilfarro.

Los **Programas de Eficiencia** son aquellos que persiguen una reducción del consumo de agua potable mediante la introducción de modificaciones técnicas en los equipos y dispositivos de consumo. Pueden ser muy variados según los sectores consumidores sobre los que se actúa, pero pueden agruparse en tres grandes segmentos: programas domésticos, programas de jardinería y programas de tipo comercial/industrial.

Los **Programas de Sustitución** son aquellos en los que se fomenta la sustitución de la utilización de agua potable de la red general por aguas de otras procedencias, actualmente no utilizadas. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: por un lado la reutilización de aguas depuradas, y por otro la utilización de fuentes alternativas de agua no susceptible de distribución a través de la red general de aguas potables: aguas salobres, acuíferos locales con aguas no potables, aguas pluviales, etc..

Los **Programas de Gestión** incluyen una amplia gama de programas instrumentales, esto es, de instrumentos de gestión bien sea al servicio de otros programas sectoriales o del conjunto del Programa de Conservación.

PROGRAMAS DE INFRAESTRUCTURA

En la literatura especializada en Conservación del Agua se insiste en la consideración de las actuaciones sobre la infraestructura de abastecimiento como escalón inicial, o incluso como requisito previo, para el lanzamiento de cualquier otro tipo de programas. No tiene sentido abordar costosas iniciativas de reducción del consumo final cuando se están perdiendo grandes cantidades de agua en las redes de distribución, o cuando no se dispone de contadores que permiten conocer la evolución del consumo de cada usuario y su grado de participación en los programas de ahorro y eficiencia.

Los programas sectoriales incluidos en este bloque se agrupan en cinco categorías:

- Programas de reparación de redes y eliminación de fugas.
- Programas de localización y eliminación de tomas ilegales.

- Programas de universalización de contadores individuales.
- Programas de reducción de presiones.
- Programas de gestión informatizada de redes.

Reparación de redes y eliminación de fugas

Dado que este es un problema habitual y bien conocido en las redes de abastecimiento en todo el mundo, existe desde hace tiempo una amplia oferta de tecnologías y sistemas avanzados para la detección de fugas y el sellado de las mismas. Si en numerosas ocasiones no se venían aplicando estas técnicas, se debía a la idea, casi siempre equivocada, de que es más costoso realizar un buen mantenimiento que sufragar el coste del agua perdida.

La realidad es que, en la mayoría de los casos, la reparación de las redes es el procedimiento de ahorro de agua económicamente más ventajoso. Las agencias públicas más comprometidas en los programas de conservación enfatizan fuertemente este aspecto, para animar a todas las empresas de abastecimiento a emprender sus propios programas de reparación de redes.

Localización y eliminación de tomas ilegales.

En algunas redes de distribución extensas, de baja densidad y de difícil control, las conexiones clandestinas y otras formas de intrusismo en las redes pueden llegar a captar porcentajes muy apreciables del agua incorporada al sistema.

Las técnicas de localización de estas tomas ilegales son similares a las de localización de fugas, aunque los costes de reparación son inferiores y generalmente se pueden imputar a los intrusos, una vez identificados.

Universalización de contadores individuales

La existencia de contadores colectivos urbanos y, mucho más, la ausencia total de contadores en determinados contratos de suministro, constituyen, en cualquier red de distribución, los principales impedimentos para el desarrollo de los Programas de Conservación, y en particular para las intervenciones de mejora de la eficiencia. Se ha llegado a afirmar que el concepto de eficiencia hidráulica no existe sin contadores individuales.

La reducción del consumo que sigue automáticamente a la instalación de contadores individuales suele ser espectacular. Esta medida, dada la carestía y escasez del agua, está generalizada en Canarias. No es así en otras comunidades autónomas u otras partes del planeta donde los sistemas de distribución, medida y control no están tan desarrollados.

Reducción de presiones de suministro

La reducción de presiones se suele señalar en ocasiones como un importante instrumento para mejorar la eficacia en el uso del agua, dado que reduce tanto las pérdidas en la distribución como el caudal en los puntos de utilización. Se ha estimado que una reducción de presión desde 100 a 50 psi (desde 8,4 a 4,2 atmósferas, aproximadamente), reduce en un tercio el flujo de un grifo corriente, pero obviamente esta reducción no aporta beneficio alguno en los llamados “usos volumétricos”, que son los que requieren un volumen determinado de agua, y no un tiempo determinado de flujo (por ejemplo, un baño es un uso volumétrico, pero una ducha no lo es).

Los programas de reducción de presiones pueden exigir importantes modificaciones en la infraestructura, y por tanto considerables inversiones. Aunque en ciclos agudos de sequía es frecuente que las empresas de abastecimiento recurran a severas reducciones de presiones para disminuir el consumo, con resultados apreciables, numerosas agencias cuestionan la conveniencia de recurrir al mantenimiento continuado de bajas presiones como instrumento de gestión en situaciones de normalidad.

Las reducciones continuadas y generalizadas de presión provocan una gran pérdida de calidad del servicio, así como posibles problemas sanitarios y de otros tipos, sin ofrecer ventajas proporcionales. Las diferencias globales de consumo anual entre las viviendas situadas en las zonas con mayor y menor presión apenas alcanzaba un 6 por ciento. Como contrapartida, sin embargo, en condiciones de baja presión los dispositivos de alta eficiencia, capaces de generar ahorros muy superiores, podían llegar a funcionar en condiciones defectuosas y acabar siendo rechazados por el público.

Una visión de síntesis de las posiciones respecto a este tema señalaría como “correcta gestión de presiones” a aquella que:

- regula con gran cuidado el ciclo diario de presiones, para evitar la elevación nocturna de la presión, que genera aumentos de fugas, sin beneficio para nadie,
- procura mantener durante el día el mayor número posible de contadores bajo presiones comprendidas entre 50 y 60 psi (entre 3,4 y 4,1 atmósferas, aproximadamente), que es el intervalo recomendado para una máxima eficiencia global.
- reduce al mínimo posible el funcionamiento de contadores con presiones superiores a los 80 psi (unas 5,4 atmósferas).

Gestión informatizada de redes

Los sistemas de gestión informatizada de redes ayudan a optimizar la utilización del agua disponible, a mejorar la programación del mantenimiento, a adaptar el régimen de presiones a la situación de la demanda, a reducir las pérdidas por fugas e intrusismo y, en general, a reducir los costes de operación y aumentar la eficiencia en el uso del agua. Un sistema de gestión informatizada de redes de abastecimiento debe contemplar e interconectar los siguientes aspectos:

- Características y parámetros climatológicos
- Condiciones y tipos de suelo
- Características de los componentes del sistema: secciones, edad, materiales, etc.
- Estado de las conducciones: corrosión, calcificación, etc.
- Roturas y fugas
- Calidad del agua
- Control de presiones
- Control de operaciones: válvulas, bombas, etc.
- Información de contadores
- Quejas de clientes
- Gestión de costes de operación y mantenimiento

PROGRAMAS DE AHORRO

Programas de concienciación ciudadana

Los programas de “concienciación ciudadana” cabe clasificarlos en cuatro categorías relativamente homogéneas:

- Información ciudadana
- Animación socio-comunitaria
- Acciones de demostración
- Educación escolar.

En los próximos apartados se describen los principales contenidos de estos programas.

Información ciudadana

Entre los programas de información se distinguen, por un lado, los sistemas o programas generales de información puestos a disposición del público para acompañar el lanzamiento y seguimiento de Programas de Conservación, y por otro los programas que pretenden ofrecer una información directa y personalizada a los usuarios acerca de su situación concreta en materia de consumo y eficiencia hidráulica.

Los programas generales de información descansan básicamente en la publicidad, en el establecimiento de puntos de información accesibles al público, y en la distribución de documentación acerca de la conservación y la eficiencia en el uso del agua.

La publicidad suele ser utilizada masivamente en el lanzamiento de los Programas Integrados de Conservación, así como en el seguimiento y presentación de los resultados obtenidos.

Por lo que se refiere a los puntos de información, casi todas las agencias o empresas de abastecimiento que ponen en marcha programas de conservación establecen centros de atención al público en sus propias oficinas, o en la sede del programa, cuando éste cuenta con sede propia, así como líneas telefónicas especiales para informar sobre los programas y las diversas formas de participación en los mismos.

Ejemplos de estos programas de información pueden estar:

- Centros de información meteorológica para aconsejar sobre las necesidades de riego de jardines en cada momento.
- Páginas web para transmitir información a sus usuarios: información general, asesoría, documentación, material multimedia, programas de software para calcular posibles ahorros de agua y costes y beneficios económicos, etc.
- La distribución de documentación por vías convencionales: publicaciones sobre diversos temas específicos (riego por goteo, selección de plantas de bajo consumo de agua, etc.), vídeo, revistas, libros técnicos y de divulgación.
- Programas personalizados de información: uso de los envíos postales de recibos para establecer un canal de comunicación continua con sus abonados, cambiar la estructura de los recibos, para que cada abonado pueda comprobar sus logros individuales en materia de conservación y la incidencia de estos logros en su factura del agua, incluir en los recibos invitaciones a participar en los programas que mejor se ajustan al perfil de cada usuario, ofrecimientos de subvenciones, créditos para financiar mejoras, diversas clases de servicios, etc..

Animación sociocomunitaria

Dentro de este apartado se citan las siguientes posibles actividades:

- Programas de conferencias y charlas a cargo de personas con buenos conocimientos del tema de la conservación y adecuadas capacidades oratorias, que están disponibles para dar conferencias en cualquier tipo de acto, jornadas o seminarios que se organicen en el seno de la comunidad. Es muy importante, en este caso, la formación y homogeneización de criterios entre los diversos dinamizadores.
- Organizar talleres de actividades sobre temas referentes al agua: técnicas de riego, mantenimiento o mejora de los equipamientos domésticos, etc..
- Expositores sobre conservación en acontecimientos y ferias populares.

- Otras actividades sociocomunitarias incluyen la celebración de días, semanas o meses “del agua”, con diversos tipos de actividades. Entre ellas pueden estar las entregas de premios a los mejores esfuerzos y resultados obtenidos en materia de conservación.

Acciones de demostración

Las acciones de demostración con la conservación del agua son principalmente de dos tipos: por un lado las instalaciones experimentales o unidades piloto abiertas al público, en las que se concentran todas las técnicas disponibles de eficiencia hidráulica, y por otro las iniciativas de conservación avanzadas, planteadas por algunas instituciones en sus propias instalaciones con ánimo ejemplificador.

Entre las instalaciones piloto, está los jardines de demostración de bajo consumo de agua y las Casas del Agua dotadas de todos los sistemas disponibles de eficiencia.

Educación escolar

Los programas de educación escolar son una de las claves principales de la política de conservación del agua, fundamentalmente porque consumos de agua están en buena medida determinados por unos hábitos de consumo muy arraigados en la población, que sólo pueden ser modificados a largo plazo mediante la educación y la concienciación de los niños y los jóvenes. Éstos, además, constituyen un buen vehículo para introducir en los hogares unos criterios y una información en relación con el uso del agua que resulta difícil hacer llegar a los adultos por otros medios, especialmente en contextos de nivel cultural limitado.

Un aspecto importante de la educación escolar es el de la formación del profesorado, la producción de documentación y guías temáticas para uso de los profesores.

En Canarias, pocas veces se ha hecho una especial incidencia en campañas de ahorro de agua, debido quizás a que ya de por sí se sobreentiende que existe una secular actitud ahorradora hacia el agua, más evidente en las islas menos favorecidas como las más orientales o El Hierro. De lo que no parece que se sea consciente, es que en las últimas décadas se ha producido un importante trasvase de la población de las zonas rurales a las urbanas, donde no es tan palpable la escasez de agua ya que, gracias sobre todo a la producción industrial y a las inversiones en infraestructura de distribución, existe suministro continuo en la mayoría de los casos y los costes percibidos del agua no son tan onerosos como cabría pensar. Con lo cual se está produciendo un proceso de pérdida de conciencia del problema del agua y por tanto de este legado cultural que a través de programas de educación sería necesario mantener.

Programas de tarificación

En general, las modificaciones de las estructuras de tarifas que se pueden aplicar van en tres direcciones:

- Tarifas de bloques crecientes.
- Tarifas con diferenciación estacional.
- Tarifas con recargos especiales.

A modo de ejemplo de tarifas de bloques crecientes, y sin ningún valor estadístico, se expone el siguiente cuadro de tarifas para el uso doméstico de un servicio municipal de agua. Obsérvese la inclusión de las tasas por saneamiento:

- Cuota fija	1.850 ptas.
- De 0 a 8 m ³	0 ptas./m ³
- De 9 a 45 m ³	158 ptas./m ³
- De 46 a 70 m ³	390 ptas./m ³
- Más de 70 m ³	665 ptas./m ³

Saneamiento:

- Cuota fija 304 ptas.
- Más de 8 m³ 38 ptas./m³

Para Comunidades de vecinos, organismos y consumos oficiales:

- Cuota fija 1.850 ptas.
- Tarifa única 220 ptas./m³

Las tarifas con diferenciación estacional se pueden aplicar en localidades con limitaciones de suministro en verano y con fuerte consumo de agua para jardinería, normalmente con un incremento en verano y un precio estable durante el resto del año.

Las tarifas con recargos especiales son básicamente de dos tipos. El primero es el que impone sobrecargas de precios a los usuarios que superan un determinado umbral de consumo. El segundo tipo de recargos especiales es el de las tasas de emergencia para épocas de sequía.

PROGRAMAS DE EFICIENCIA

Los programas de eficiencia son aquellos en los que se intenta reducir el consumo de agua mediante modificaciones en las técnicas y dispositivos de utilización. Constituyen el núcleo central de los programas de gestión de la demanda de agua y, en general, de los programas de conservación del agua en el ámbito urbano.

La organización de los programas de eficiencia constan de los siguientes grupos de programas:

- usos residenciales interiores .
- jardinería y otros usos exteriores residenciales.

- usos comerciales e industriales.

Programas residenciales para usos interiores

Este conjunto de programas tiene como finalidad la mejora de la eficiencia en el equipamiento hidráulico y sanitario doméstico interior. Abordan, por una parte, el control de fugas, eliminación de goteos de grifos y otros posibles defectos de la instalación, y por otra la sustitución o modificación de los modelos tradicionales de grifos de lavabo y fregadero, cabezales de duchas, e inodoros, para obtener una mayor eficiencia hidráulica. En algunos casos se añade también la sustitución de lavadoras y lavavajillas.

Su demostrada eficacia, su reducido coste, y su notable incidencia no sólo en el consumo de agua, sino también en el de energía, los convierte en referencias obligadas de todo programa de conservación del agua. Además, su repercusión social y su incidencia como instrumentos de concienciación ciudadana son muy notables, ya que alcanzan directamente a la totalidad o a porcentajes muy elevados de la población.

Entre ellos se incluyen medidas que garanticen que las nuevas edificaciones o las viviendas rehabilitadas sean equipadas con dispositivos de alta eficiencia, para lo que sería necesario establecer legislación reguladora de la eficiencia hidráulica de los productos de fontanería.

Por lo que se refiere a los porcentajes de reducción del consumo alcanzables mediante la renovación de los equipos de fontanería, apunta hacia un ahorro potencial que puede llegar hasta el 35 por ciento en el conjunto de usos interiores de una vivienda plenamente equipada con equipos de eficiencia hidráulica.

El ahorro de costes para el usuario mediante la implantación de estos sistemas es muy considerable. En los casos de duchas y fregaderos, a la disminución del consumo de agua se suma la disminución del consumo de energía que conlleva la reducción de los flujos de agua caliente. Las escasas inversiones necesarias pueden quedar amortizadas en períodos muy breves, en ocasiones de menos de un año, aún en el caso de que el usuario adquiriera por sí mismo los dispositivos.

Programas de jardinería y otros usos residenciales exteriores

La mayor parte de estos consumos se dedican al riego de patios, jardines y parques públicos, y en menor medida al mantenimiento de piscinas y al lavado de coches.

Los usos exteriores se incrementan extraordinariamente en verano, que es cuando mayores suelen ser las dificultades para el abastecimiento de agua.

Uno de los conceptos aplicar son los “jardines secos” o “jardines xéricos”, utilización de especies autóctonas y exóticas, pero de carácter xerófilo (menores necesidades en agua), renunciando a la imagen tradicional de jardín, con presencia de césped, setos y árboles frondosos, y colorido variado de flores y arbustos decorativos y transmitiendo la idea de que es posible disponer de jardines similares al convencional, pero con menores necesidades de agua, más económico y más fácil de mantener.

Siete principios se repiten en prácticamente todos los programas de reducción del consumo de agua en jardinería:

- Diseño y planificación previa del jardín.
- Mejora del suelo mediante adición de materia orgánica y elementos deficitarios.
- Reducción o eliminación del césped, limitándolo a determinadas zonas o usos.
- Acolchado del suelo con materiales orgánicos.
- Irrigación con técnicas eficientes, diferenciada por zonas, y nocturna.

- Selección de plantas o variedades con necesidades de agua reducidas. Para este caso Canarias tiene unas inmejorables condiciones ya que alberga una variada flora autóctona con especies adaptadas a todos los medios y condiciones climatológicas.
- Mantenimiento adecuado y coherente con el aporte limitado de agua.

Programas comerciales, industriales e institucionales

Estos programas se refieren a los usos del agua en el ámbito urbano ocasionados por actividades industriales, comerciales y de otros servicios, ya sean privados o institucionales.

En el campo de la industria es necesario delimitar el ámbito de actuación de los programas de eficiencia en el uso de las aguas urbanas, que se refieren a los usos industriales de pequeña o mediana dimensión, situados en el seno de la trama urbana, aunque sea en zonas o polígonos industriales, y que son abastecidos de agua a través de los sistemas de abastecimiento urbano. Aquí las modificaciones de proceso incluyendo el tratamiento y la recirculación de aguas son los más difundidos.

Otros sectores de actividad urbana fuertemente consumidores de agua es la gran industria hotelera, en la que habría que fomentar la introducción de medidas de eficiencia y realizar estudios sobre las posibilidades de reducción del consumo de agua en sus instalaciones con inversiones rentabilizables mediante la reducción de sus facturas de suministro.

PROGRAMAS DE SUSTITUCIÓN

Los programas de sustitución se refieren fundamentalmente a la reutilización de aguas residuales depuradas, o de otros tipos de aguas, evitando el consumo de agua potable en usos que no requieren una calidad elevada del agua.

En consecuencia, tanto la reutilización como el reciclaje del agua deberían estar fuertemente impulsados por las autoridades, definiendo la reutilización como el uso de agua utilizada inicialmente en una aplicación para otra aplicación diferente, y el reciclaje como el uso de agua, después de su tratamiento, en la misma aplicación en la que se usó inicialmente.

El reciclaje genera una reducción del agua potable que entra en la instalación desde la red, motivo por el que estas técnicas se suelen incluir entre las técnicas de eficiencia, y no de sustitución. Por el contrario, en la reutilización de aguas depuradas normalmente hay una entrada de aguas depuradas desde una red de distribución, produciéndose una sustitución de agua potable por aguas depuradas, convirtiéndose así en una fuente de recursos alternativa. Hoy por hoy el principal problema del agua depurada para su reuso, el común a la mayor parte de las aguas blancas: la salinidad, consecuencia de la sobreexplotación del acuífero, por lo que es importante realizar un manejo adecuado de las mismas.

Otras posibles fuentes alternativas de agua que cabe contemplar a título complementario, aunque su aportación difícilmente puede llegar a ser importante en el contexto global, son las aguas grises y las aguas pluviales.

Las llamadas “aguas grises” son las aguas procedentes de bañeras, duchas y lavabos, así como las fracciones no grasientas de aguas de fregaderos, y las aguas de aclarado de lavavajillas y lavadoras. Sometidas a sencillos procedimientos de filtración, pueden ser utilizadas para el riego de pequeños jardines o sin tratamiento para usos menos nobles como la evacuación de las cisternas, este sistema obliga a la implantación de doble circuito de agua y en algunas instalaciones sistemas de almacenamiento y bombeo.

La recogida de aguas pluviales fue muy común en las zonas rurales hasta hace algunas décadas, y todavía se practica en algunas zonas. Puede ser de gran utilidad disponer de una cierta capacidad de almacenamiento de agua de lluvia o mantener las existentes.

CICLO INTEGRAL DEL AGUA: ¿SISTEMAS CENTRALIZADOS O DESCENTRALIZADOS?

El crecimiento de las comunidades industrializadas de occidente ha estado estrechamente vinculado al creciente suministro de grandes cantidades de agua, para los diferentes usos: doméstico, industrial, servicios y agropecuario. Todo este proceso ha necesitado del avance de la tecnología asociada y de la creación de infraestructuras.

La mayor parte de esta agua se utiliza, sobre todo en el sector urbano e industrial, como medio de evacuación de residuos. Estas aguas “residuales” cargadas, principalmente de materia orgánica y nutrientes, requieren otra enorme red de saneamiento que las recojan y transporten hasta los centros de tratamiento, para después conseguir la separación del agua regenerada y los residuos incorporados. El fin último en la mayoría de los casos es el vertido “ambientalmente correcto”. En el caso de que exista la intención de reutilizar o gestionar estos subproductos, se hace necesario invertir en nuevas infraestructuras y tecnologías que permitan tratar más finamente, almacenar y distribuir de nuevo a los potenciales usuarios, lo que previamente habíamos concentrado en los complejos de tratamiento.

Así, los sistemas de gestión municipal del ciclo integral del agua, desarrollados a lo largo de años en los países industrializados, se caracterizan por:

- Adquisición o producción de agua potable a partir de los recursos naturales (aguas subterráneas, superficiales) o a partir del agua de mar mediante procesos de desalación. Todo ello con los correspondientes costes económicos, ambientales y energéticos.
 - Potabilización y distribución en las condiciones de calidad y cantidad suficientes.
 - Recolección de las aguas residuales y de lluvia por medio de la red de drenaje y alcantarillado (sin separación).
-

- Transporte del agua recogida fuera del área urbana.
- Tratamiento del agua residual y, conjuntamente en menor medida, también del agua de lluvia.
- Vertido controlado del agua depurada o, en su caso, tratamiento añadido y almacenamiento para el bombeo a un sistema de reutilización.
- Tratamiento, distribución y utilización de los fangos residuales extraídos o, simplemente, transporte a un lugar de vertido controlado.
- Un sólo uso estándar del agua o a lo sumo dos.

Este proceso es el que denominamos **sistema centralizado de gestión del ciclo integral del agua**, ya que el agua es recolectada desde diferentes fuentes de producción hasta puntos concretos para su posterior distribución y, una vez usada, se vuelve a concentrar para su tratamiento. Y se vuelve a distribuir en caso de existir un red de reutilización.

Este sistema tiene, aparentemente, numerosas ventajas. En particular, las grandes plantas de tratamiento pueden ser gestionadas y controladas de forma más eficiente y fácil, además de que se admite como algo general que son menos costosas en cuanto a la inversión y costes de operación, si las comparamos con multitud de pequeñas instalaciones sirviendo a la misma área urbana.

Sin embargo, los beneficios de los sistemas centralizados empiezan a ponerse en cuestión cuando se incorporan los costes de construcción y mantenimiento de toda la red de distribución y recolección de aguas. A su vez estas redes, con el paso del tiempo, suelen deteriorarse y comenzar tener pérdidas que, en el caso de la red de alcantarillado, se convierten en fuentes difusas de contaminación del subsuelo y las aguas subterráneas. Con el paso del tiempo los costes de rehabilitación de estas redes pueden llegar a ser muy importantes. Por otro lado todo el sistema ha de funcionar con energía y aportes externos (desalación, bombeos, depuración, tratamientos, etc.), sin aprovechar, en la mayoría de los casos los recursos naturales (agua de lluvia) ni dar un uso múltiple al recurso.

Dadas las enormes inversiones que requieren los sistemas centralizados y sus costes asociados, parece lógico pensar que no tienen por que ser la única solución posible a la gestión del agua, máxime cuando pensamos en zonas que aún no se han conectado a la red de alcantarillado o donde es posible derivar las aguas para otros usos. Esto es especialmente posible en las áreas rurales.

En este sentido, surgen nuevos conceptos como por ejemplo la creación de sistemas descentralizados o la combinación de ambos métodos, como alternativas viables y sostenibles a la gestión del agua.

La idea básica es aprovechar las aguas captadas localmente y tratar el agua residual *in situ*, por medio de pequeños sistemas, y reutilizar directamente los subproductos obtenidos.

Estos sistemas de gestión se han de caracterizar por:

- Una integración de la gestión del agua en cada punto (agua potable, agua de lluvia, aguas residuales)
- Recogida separada y tratamiento de los diferentes tipos de aguas residuales generados en el área de captación.
- Recuperación y reutilización local de las sustancias valorizables (agua, compost, biogás, nutrientes...)

A todo ello hay que añadir las ventajas que tienen los sistemas descentralizados, entre las que están la posibilidad de incluir procesos de nulo o bajo coste energético, el empleo de tecnologías sencillas y efectivas que pueden ser creadas y mantenidas con personal local debidamente formado, la utilización de materiales del entorno, integración ecológica de los sistemas, mayor autonomía de funcionamiento, la posibilidad de reutilización local de subproductos, ... y un largo etcétera de posibilidades.

Es por ello que no debe ser nada desdeñable, a la hora de diseñar nuevos sistemas de gestión de aguas, el analizar el entorno y decidir qué métodos, tecnologías y formas de trabajo son los mejor adaptados a cada situación, generando en cada caso el modelo más adecuado y sostenible.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN SOBRE LOS SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURAL

Sistemas de depuración natural (SDN): una alternativa complementaria

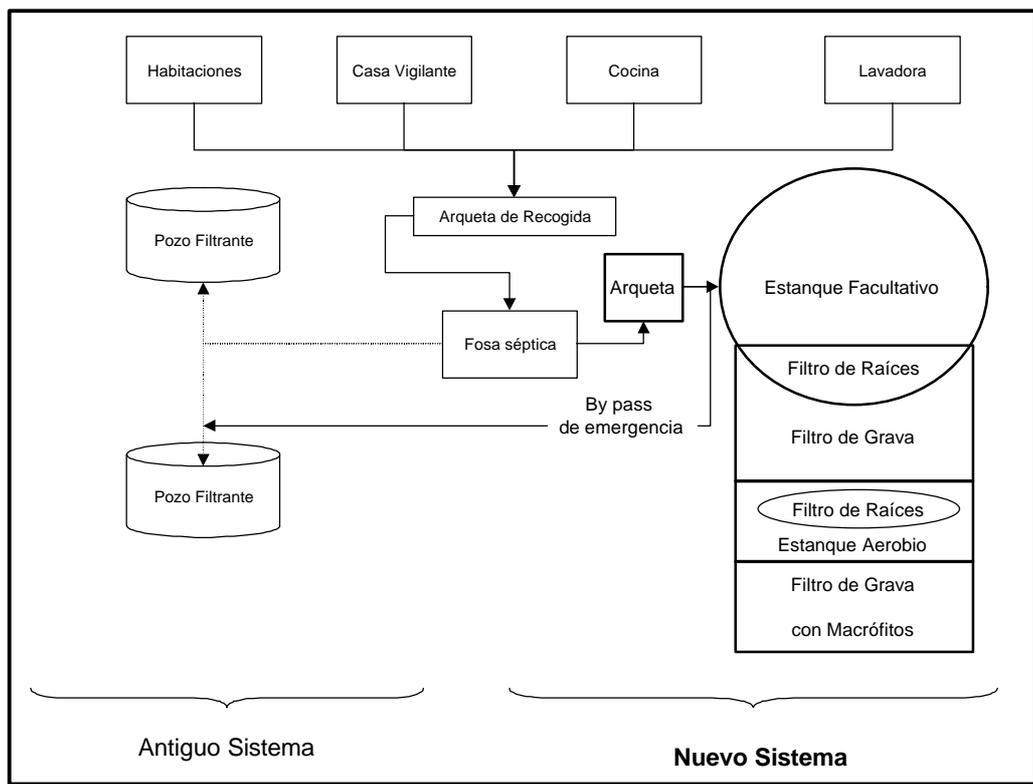
Los SDN ofrecen interesantes prestaciones para una gestión descentralizada, especialmente en aquellos casos en que, como comentamos previamente, se trate de áreas rurales con un escaso desarrollo de la red de saneamiento. En ese caso, en vez de crear una compleja y costosa red de alcantarillado a través de varios kilómetros, es razonable plantear la alternativa de un sistema natural de tratamiento de esas aguas adaptado a las condiciones locales.

También puede resultar una alternativa atractiva para explotaciones agropecuarias de tal forma que los sistemas de depuración se integren dentro del ciclo productivo de la finca, transformando los residuos en productos útiles fácilmente incorporables.

UNA EXPERIENCIA DE SISTEMAS DE DEPURACIÓN NATURAL

El aula de la naturaleza “La Laurisilva” está localizada en el término municipal de Valleseco –Gran Canaria-, en las inmediaciones de la histórica laguna. “La Laurisilva” es propiedad del Cabildo Insular de Gran Canaria y está gestionada por el Centro Forestal Doramas.

Las instalaciones de atención al visitante consisten en doce habitaciones con baño completo, servicios comunes, cocina, lavadoras industriales y una casa para el vigilante. Para el tratamiento de estas aguas residuales, el centro contaba con una arqueta de recogida de aguas, una fosa séptica y dos pozos filtrantes. Este diseño imposibilita la reutilización del agua al carecer de elementos que permitan una continuación del ciclo y la salida de agua del sistema. Además, existe el peligro de contaminar el acuífero en el caso de que la fosa séptica no funcione correctamente.



Con la construcción de un nuevo sistema de depuración natural se perseguía tratar las aguas residuales del Aula por medio de procesos naturales de depuración, recreando ecosistemas acuáticos con un nulo o bajo coste energético. Esta construcción podía servir además como proyecto demostrativo de la eficacia de estos sistemas. El sistema se diseñó para tratar las aguas residuales producidas por un máximo de 44 habitantes equivalentes. Al ser aguas residuales domésticas no se espera la presencia de ningún tipo de contaminante duro y solamente se recomienda el uso de jabones y detergentes biodegradables.

El sistema constaría de una fosa séptica de dos cámaras, un estanque facultativo, un filtro de raíces, un filtro de grava, un estanque aerobio con un filtro de raíces y un filtro de grava con macrófitos.

El sistema de depuración natural del Aula de la naturaleza se construyó entre abril y mayo de 1999. Una vez finalizado el proyecto, se han realizado regularmente labores de mantenimiento y seguimiento.

Este seguimiento arroja unos resultados satisfactorios en cuanto a la calidad del agua depurada y en cuanto a la extracción de nutrientes realizada.

Otro ámbito de aplicación de estos sistemas es el caso de instalaciones turísticas en el medio rural. Los SDN, a parte de resolver la cuestión del tratamiento de las aguas residuales, pueden servir para la recreación de ecosistemas y jardines acuáticos con finalidad lúdica o paisajística. Estos sistemas encajan perfectamente en aquellas instalaciones que quieran integrar tecnologías limpias y una gestión sostenible de los recursos como valor añadido del producto turístico ofertado, implicando por otro lado un abaratamiento de los costes en la gestión de residuos. Por último, no habría que desdeñar la aplicación de los SDN en zonas urbanas, no como solución a la depuración de aguas residuales, sino como fuente de agua de riego para parques y jardines, elemento educativo y generador de biodiversidad y paisaje.

Los SDN son el resultado de un ejercicio de diseño ecológico tomando como fuente de partida e inspiración los ecosistemas acuáticos naturales. Mediante el **diseño y recreación** de ecosistemas acuáticos se consigue no sólo el tratamiento del agua sino además convertir los residuos presentes en el agua en una serie de productos fácilmente aprovechables por el ser humano.

Convencionalmente se ha planteado el tratamiento de las aguas residuales como una acción de mejora ambiental **lineal y desconectada de su entorno**. Se depura para no dañar el río, cauce o acuífero donde se vierte, se hacen importantes inversiones económicas en conseguir que los residuos no perjudiquen o alteren el entorno, pero casi nunca se plantea el tratamiento de las aguas residuales como un mecanismo de **recuperación y ahorro**, no tan sólo del agua sino también de los nutrientes que componen la contaminación.

Por el contrario, los sistemas de depuración natural de las aguas residuales parten del principio de que los **residuos no existen**. Se entienden los **residuos como recursos** que, por la cantidad, forma y/o momento en el que se encuentran, no se han sabido aprovechar, y su fin último es **aprovechar estos recursos de forma**

cíclica en la menor escala de tiempo posible, generando la más estrecha interrelación posible con los elementos que configuran el entorno.

Estos sistemas presentan un coste de inversión y de mantenimiento muy bajo en relación a los sistemas convencionales. Por otro lado están alimentados por **energías renovables pasivas** (sol, viento y gravedad) lo cual implica unos costes de funcionamiento prácticamente nulos.

Los sistemas de depuración natural de aguas residuales consiguen una depuración del agua con una **alta calidad** en la reducción de nutrientes, microorganismos patógenos y materia orgánica biodegradable mientras que por otro lado y debido a su diseño como ecosistemas naturales, permiten una **alta variabilidad** en la composición del vertido, gracias a la capacidad de resiliencia – autorregulación, autoorganización, autorregeneración y autopurificación-- propia de todo ecosistema.

El diseño de estos (eco)sistemas es un recurso en sí mismo al poseer un innegable valor paisajístico y fomentar la biodiversidad propia de los ecosistemas húmedos, los cuales han sufrido una intensa reducción y deterioro en las últimas décadas –entre 1948 y 1990 desaparecieron el 60% de las zonas húmedas del estado español--.

Pasamos a continuación a analizar los productos que se obtienen de estos sistemas y los usos potenciales de los mismos.

Productos y usos de los SDN

En una depuradora natural se van a generar, en función del volumen y la demanda de mantenimiento, principalmente dos tipos de productos, el más importante, tanto en volumen como en frecuencia, es la **planta acuática** que ha colaborado en la introducción de oxígeno y en la captación de los nutrientes disueltos en el agua. Ésta, con un mínimo de dos extracciones al año, se puede utilizar fácilmente como forraje. El segundo, son los **fangos bacterianos**, tanto de la fosa séptica como del

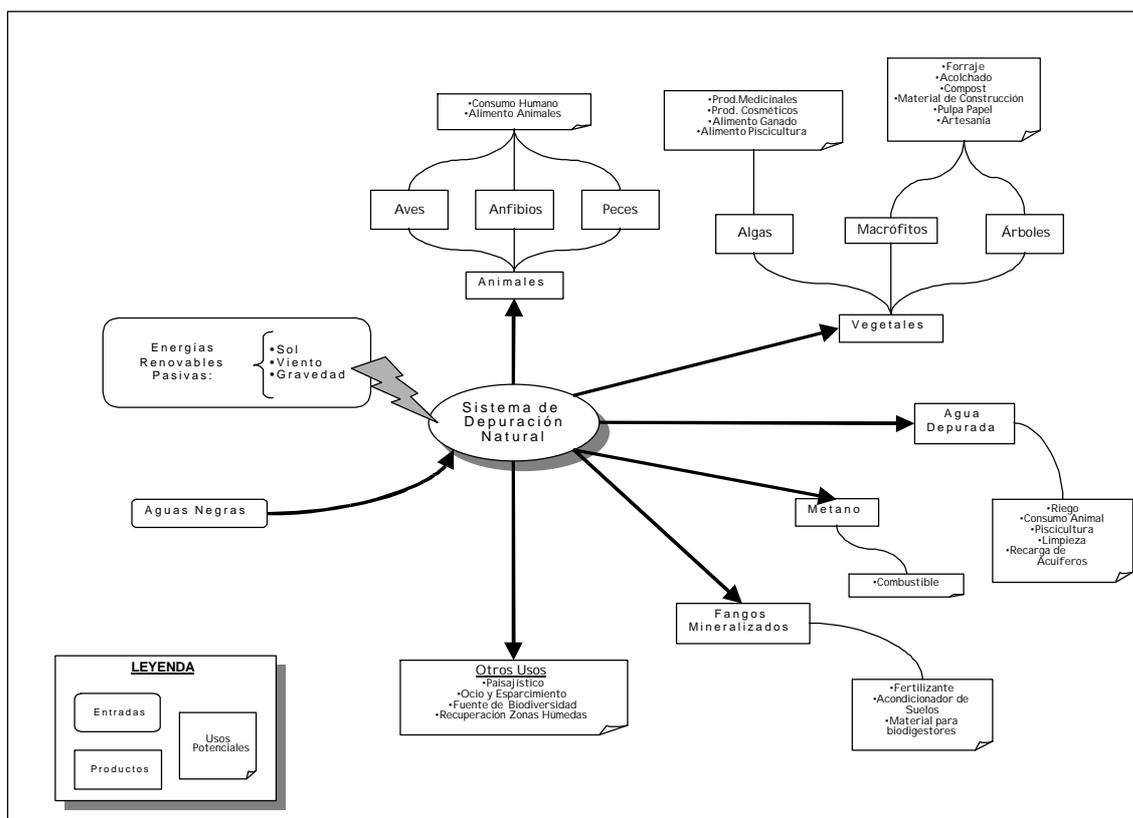
estanque. Estos fangos se pueden mezclar con paja dando una mezcla que, bien directamente o previo compostaje, será un buen abono de fondo, siempre y cuando lo permita su composición.

A parte de estos productos, se obtiene también un **agua de salida** de la depuradora que contendrá aproximadamente un **10%** de los nutrientes que llegan al sistema. Estos se pueden reintroducir en el ciclo biológico a través del riego, constituyendo de hecho una fertirrigación de baja dosis, cada vez que se riega.

Otro producto son los **animales depredadores**, que se encuentran en el sistema para regular las poblaciones de los eslabones inferiores de la cadena trófica. De éstos, los cultivados en las últimas fases del sistema pueden ser aprovechados como una acuicultura (carpas, tencas, barbos o patos), bien para el consumo humano, bien para la fabricación de piensos u otros subproductos.

Otro aspecto que se puede aprovechar de estas depuradoras es el **metano** generado en un digestor anaeróbico, luego aprovechable como combustible. Aunque en proyectos donde el tamaño o el afluente no permita su aprovechamiento, el metano se introduce en el suelo, evitando en gran medida su salida a la atmósfera, donde colaboraría con el efecto invernadero.

En la **figura** podemos observar las entradas, las salidas o productos y los usos potenciales de los mismos.



Entradas, productos y usos potenciales de un sistema de depuración natural.

Por tanto, en sistemas integrados, tales como son los sistemas de depuración natural, no sólo se debería conseguir el tratamiento y la **reutilización del agua**, con el ahorro que ello significa, sino que paralelamente se está desarrollando otro ciclo de como mínimo igual importancia, que es la **recirculación de los nutrientes**, en forma de vegetación y/o animales cultivados, que debemos de tratar de aprovechar.

Una tecnología que demanda cambios conceptuales

Los sistemas de depuración natural del agua introducen nuevos conceptos a la hora de enfocar el tratamiento de aguas residuales. El diseño ecológico en general y la depuración natural en particular buscan en su fin último, **el crear un espacio** (hábitat) en el que se puedan desarrollar una serie de ecosistemas que permitan la **recuperación de un recurso** (el agua) y la **reintroducción al ciclo**

biológico de unos excedentes (la contaminación/nutrientes) convirtiéndolos en productos, de una forma no traumática y lo más optimizada posible, tanto en espacio como en tiempo.

Ya no se trata de sustituir o someter a la naturaleza mediante máquinas sino más bien de **colaborar** con ella, poniendo a su disposición los espacios y recursos necesarios para trabajar conjuntamente. Evidentemente para conseguir esta meta, es de vital importancia empezar a tener un exacto conocimiento de los productos que utilizamos con el agua, para evitar aquellos biocidas, tóxicos o bioacumulables.

La depuración convencional y el diseño de máquinas en general, llevan implícitas una linealización y simplificación de los procesos y de las condiciones iniciales y de funcionamiento, de manera que el proceso se vuelva más fácilmente controlable y previsible.

Muy al contrario, colaborar con la naturaleza implica aceptar la complejidad, no linealidad, “desorden”, imprevisibilidad y en definitiva, la falta de conocimiento, conceptual y cuantitativo, de los mismos.

En este contexto, la vieja tendencia de “dar recetas universales” y fórmulas para el diseño y predicción del sistema, no es sólo poco acertada sino incluso desaconsejable. Las fórmulas pueden servir para orientarnos en la toma de decisiones pero nunca serán tan efectivas y fiables como en sistemas mecánicos simples y lineales.

Esto no significa, no obstante, que no se pueda alcanzar un **conocimiento efectivo**, entendiendo éste como aquel que conduce a una acción efectiva sobre sistemas complejos en general y sobre los SDN en particular. Este conocimiento efectivo debe estar basado en un **diseño y manejo adaptativo**. Esta adaptatividad es un proceso **iterativo, marcadamente local, e intensivo en**

observación, conocimiento y manejo. La experiencia acumulada a lo largo de los años en este tipo de sistemas es útil como punto de partida pero, para lograr las habilidades necesarias para su diseño y gestión, es necesaria una experiencia personal continuada y reflexiva.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DEPURADORAS NATURALES ¹

Los elementos de los que consta una depuradora

Para describir el funcionamiento y los elementos de una depuradora podemos utilizar una analogía que compare el funcionamiento de la depuración con el funcionamiento de nuestro tracto digestivo:

Los elementos que encontramos en la depuradora son:

- Desbastador
- Fosa séptica
- Estanque facultativo
- Filtro de grava
- Filtro de raíces
- Filtro de grava
- Estanque de maduración

Utilizando la analogía con el tracto digestivo, tendremos que: el desbastador actúa como los dientes lo hacen en nuestra boca, impidiendo el paso al sistema de materiales gruesos y no biodegradables que puedan llegar al agua. La tubería, actuaría como la saliva, mezclando en el trayecto los distintos materiales que lleva el agua, hasta conseguir una mezcla más o menos homogénea.

¹ Elaborado por Albert Torrents Sallent, Técnico Agrícola, especialista en depuración natural.

El segundo elemento, constituido por la fosa séptica y la parte anaerobia del estanque facultativo (ver punto 2 de este texto), actúa como lo hace nuestro estómago. En esta fase los compuestos contenidos en el agua residual, son descompuestos por digestión anaerobia (fermentación) en un medio sin oxígeno y ácido, que ayuda asimismo a la eliminación de ciertos patógenos. Este es un medio amplio en volumen, y con una baja relación de volumen/superficie - ecotono.

La parte superior del estanque facultativo (es decir la zona aerobia) completa esta descomposición y lo que quizás es más importante, estabiliza los nutrientes ya descompuestos, así, por ejemplo en el caso del nitrógeno, lo pasa de la forma anaerobia o reducida (amónico) a formas aerobias u oxidadas, primero a nitritos (elementos aún poco estables y tóxico para las plantas y animales acuáticos) y seguidamente a nitratos (no tóxicos y más fácilmente asimilables por parte de las plantas). Podríamos, entonces, hablar que esta zona actúa como nuestro páncreas, el cual segrega productos básicos para contrarrestar la acidez de los jugos intestinales y permitir que la mezcla resultante pueda ser asimilada por nuestro organismo.

Ya tenemos una mezcla aerobia, con un pH de neutro a básico y con unos nutrientes en formas estables y asimilables en su mayor parte. en este punto, el agua entra a las zonas de captación de nutrientes. Una primera de estas zonas la constituirán el trío filtro de grava, filtro de raíces y filtro de grava. El conjunto de estos tres elementos, actúa como el hígado lo hace en nuestro cuerpo, haciendo pasar la mezcla por un medio que reproduce un patrón fractal que maximiza el contacto entre el agua residual, las bacterias que viven sobre la grava y las raíces de las plantas, estas mismas raíces son las encargadas de suministrar el oxígeno a las bacterias y de extraer los nutrientes que estas acaban de descomponer. En esta fase, también hemos incrementado enormemente la relación de ecotono

entre el agua y las raíces de las plantas y bacterias. Este es entonces un elemento esencialmente extractivo de los nutrientes previamente descompuestos.

Finalmente llegamos al intestino, esta zona tiene también una alta relación de ecotono, pero en este caso éste es sobre todo Laguna – margen – planta - tierra. Este último elemento completará la descomposición de la materia orgánica residual, a la vez que extraerá nutrientes, pero su principal función será la eliminación de patógenos.

A partir de este punto, el agua reunirá unas buenas condiciones tanto en la estabilización de los nutrientes como en la desinfección de patógenos, que permiten su uso para riego, vertido a cauce o alimentación de acuíferos sin restricciones.

Las conclusiones de este punto serian entonces:

- La depuración natural utiliza y maximiza una serie de procesos que se dan de forma natural en el medio, en un emplazamiento controlado (impermeable, de medidas adecuadas, sin olores, etc.).
- La depuración natural, así como la ingeniería ecológica, buscan en su fin último, el crear un espacio en el que se puedan desarrollar una serie de ecosistemas que permitan la recuperación de un recurso (el agua) y la reintroducción al ciclo biológico de unos excedentes (la contaminación - nutrientes) convirtiéndolos en productos, de una forma no traumática para el medio.

Para ello diseñamos sistemas que engloban a multitud de ecosistemas y organismos, favoreciendo las relaciones simbióticas y sinérgicas, con el fin último de dar lugar a un supraorganismo, integrado por todos ellos, que permita la conversión de los residuos en recursos.

Principios de funcionamiento de las depuradoras naturales

La base del funcionamiento de la depuración, es como hemos dicho la descomposición de los materiales degradables contenidos en el agua residual.

Esta degradación de compuestos complejos a elementos simples se dará a un nivel tanto físico - químico (como la hidrólisis y la fotodegradación) como, y sobretodo, biológico.

La degradación biológica, es aquella en que los microorganismos, mediante enzimas, rompen los enlaces de los compuestos complejos (grasas, proteínas, etc.) con el fin de extraer elementos simples para su alimentación (N, P, C, etc.).

Este proceso se puede hacer en un medio aerobio, en el cual el elemento de intercambio será principalmente el oxígeno, o en un medio anaerobio en el que el oxígeno será sustituido principalmente por el hidrógeno.

Para describir mejor estos procesos podemos utilizar el esquema del funcionamiento del estanque facultativo (ver cuadro). En este vemos diferenciadas dos capas de agua, una superior aerobia, debido a que las algas y plantas acuáticas aportan al agua el oxígeno resultante de la fotosíntesis.

A medida que descendemos por la columna de agua irá disminuyendo la cantidad de oxígeno presente puesto que a más profundidad el sol llega con menos intensidad, permitiendo una menor fotosíntesis y por consiguiente, liberación de oxígeno; a la vez que el consumo de oxígeno se mantendrá igual que en la superficie ya que este lo condicionan unos microorganismos que no dependen de la llegada o no de la luz. Así, llegaremos a una profundidad de agua en la que no encontraremos oxígeno disponible para los microorganismos, en la que la

degradación pasará a ser anaerobia, llevada a cabo por microorganismos que no dependen del oxígeno o incluso que les es tóxico.

Esta estratificación del agua en diferentes capas según la profundidad tendrá una gran importancia en los procesos de descomposición. Un ejemplo de ello será el control de olores, ya que los gases que provocan malos olores se forman en condiciones anaerobias (como el sulfhídrico), pero si en la superficie de la laguna mantenemos un medio rico en oxígeno, al pasar el gas a través de ella se oxidará, pasando a formas que no provocan malos olores, como son los sulfatos. Otro efecto importante será el asegurarnos que toda el agua residual pasa por fases tanto anaerobias como aerobias.

El resultado de esta descomposición serán unos nutrientes que servirán de alimento a las algas que aportan el oxígeno (cerrando el ciclo primario) y a las plantas acuáticas, donde se acumularán en forma de tejidos vegetales. El cortar y utilizar esta planta acuática será la forma que tendremos de extracción de nutrientes.

En el fondo del estanque, se irán acumulando una serie de fangos y sedimentos, de estos, la mayor parte está formada por cuerpos de bacterias muertas y compuestos de lenta descomposición. Estos se irán descomponiendo con el tiempo, de forma anaerobia, hasta llegar a compuestos simples que vuelven a estar a disposición de las algas y plantas al pasar a formas solubles (o por otros procesos), esto dará una acumulación neta de fangos baja, que permite que las extracciones de lodos sean cada 10 o más años.

A nivel de desinfección del agua, intervienen varios factores: La retención del agua en el sistema, es superior a los 30 días, esto conllevará la eliminación de los microorganismos que no estén adaptados a pasar largos períodos fuera del huésped.

El hecho de pasar el agua por fases aerobias y anaerobias, conlleva la eliminación de los microorganismos que no están capacitados a sobrevivir en uno o otro medio.

Los cambios de pH y temperatura, si bien muchas veces no eliminan el microorganismo, si que le provocan un cierto estrés que los debilita, incrementando la eficiencia de los otros procesos.

En el último estanque, con una agua que permite una mayor entrada de luz solar, se da una desinfección por rayos ultravioleta.

Finalmente cabría mencionar a los depredadores, otros microorganismos, zooplancton, insectos y otros invertebrados que se alimentan de microorganismos, entre ellos los patógenos.

Integración de la depuradora en el ciclo global de nutrientes de la finca

Éste es quizás uno de los aspectos que menos se consideran cuando se estudia la necesidad de instalar una planta depuradora de aguas residuales.

Convencionalmente nos planteamos el tratamiento de las aguas residuales como una acción de mejora ambiental lineal y desconectado de su entorno, depuramos para no dañar el río, cauce o acuífero, invertimos un dinero en conseguir que nuestros residuos no perjudiquen o alteren el entorno, pero casi nunca nos planteamos el tratamiento de las aguas residuales como un mecanismo de ahorro, no tan solo del agua sino también de los nutrientes que componen nuestra "contaminación".

Sin embargo, el tratamiento ecológico de aguas residuales parte del principio de que los residuos no existen, se entiende los residuos como recursos que, por la cantidad, forma y/o momento en el que se encuentran, no se han sabido

aprovechar, y su fin último es aprovechar estos recursos de forma cíclica en la menor escala posible, en este caso el entorno de la finca, generando la más estrecha interrelación posible con los elementos que configuran este entorno.

Un aspecto importante de esta integración, es evidentemente, dar al agua una calidad mínima que permita su reutilización como agua de riego, limpieza o usos menores, es por ello imprescindible que el tratamiento de las aguas residuales no se limite sólo a la descomposición de la materia orgánica (MO) y eliminación de materiales en suspensión (MES) a lo que obliga la legislación vigente, sino que además garantice una buena estabilización de los nutrientes que forman la materia orgánica (por ejemplo conteniendo la mayor parte del nitrógeno en forma de nitratos, en contra de amonio y nitritos o garantizando unos bajos niveles de salinidad donde este problema se dé, no comprometiendo a medio plazo la salud de las aguas freáticas por lixiviados o de los suelos por incrementos de la salinidad que deterioren su estructura) y unos altos índices de desinfección de los microorganismos patógenos que pueda contener (ver el punto 2 de este texto).

Pero aún con la importancia que tiene la reutilización del agua tratada, por el ahorro de agua para riego que ello significa, paralelamente se está desarrollando otro ciclo de como mínimo igual importancia, que es la recirculación de los nutrientes en la finca.

Tradicionalmente hemos utilizado el ciclo planta – consumo – residuos - estercolero - planta, dentro de cada finca, pero actualmente utilizamos el agua como medio de transporte de una parte importante de estos residuos, apartándolo del ciclo de nutrientes de la finca, a la vez que aceptamos unos costes por adquisición de piensos, forraje y fertilizantes, tendiendo de esta manera a modelos lineales en detrimento de los modelos cíclicos tradicionales.

En una depuradora natural tenemos principalmente dos tipos de residuos, el más importante, tanto en volumen como en frecuencia, es la planta acuática que ha

colaborado en la introducción de oxígeno y en la captación de los nutrientes disueltos en el agua. Esta con un mínimo de dos extracciones al año, se puede utilizar fácilmente como forraje. El segundo, son los fangos bacterianos, tanto de la fosa séptica (con extracciones cada 2 o 3 años) como del estanque (cada unos 10 años). Estos fangos se pueden mezclar con paja (evita los olores y fija el nitrógeno del que son muy ricos los fangos) dando una mezcla que bien directamente o previo compostaje, será un buen abono de fondo.

A parte de estos “productos”, tendremos también una agua de salida de la depuradora que contendrá aproximadamente un 10 % de los nutrientes que lleguen al sistema (20-25 % en cuanto a nitrógeno). Estos se reintroducirán al ciclo de la finca a través del riego, constituyendo de hecho una fertirrigación de baja dosis, cada vez que reguemos.

Otro producto serán los animales depredadores, que se encuentran en el sistema para regular las poblaciones de los eslabones inferiores de la cadena trófica. De estos, los cultivados en las últimas fases del sistema pueden ser aprovechados como una acuicultura (carpas, tencas o barbos), bien para el consumo humano, bien para la fabricación de piensos.

Otro aspecto que se puede aprovechar de estas depuradoras (aunque en muchos casos no se hace), es el metano generado en la fosa séptica, aprovechable como combustible. Como alternativa en proyectos de este tipo, el metano se introduce en el suelo para su absorción por los microorganismos de zonas anaerobias del suelo, evitando en gran medida su salida a la atmósfera, donde colaboraría con el efecto invernadero.

Así, aunque siempre en cantidades pequeñas, podemos hablar de que estos sistemas permiten un ahorro en la cantidad de estiércol y fertilizantes a comprar por parte de la finca, aporta un rendimiento a los costes de eliminación de residuos

y nutrientes, a la vez que incrementa tanto la diversidad de ecosistemas en la finca como diversifica los recursos y alimentos que esta contiene y produce.

Recursos biológicos que intervienen en el proceso de depuración

Como hemos visto en los puntos anteriores, una de las bases de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales es el aprovechar las características, posibilidades y necesidades de diferentes organismos vivos, para lograr un adecuado tratamiento de las aguas residuales.

Para entender bien este punto, es importante conocer mínimamente las características de los organismos que integran el sistema, así como sus características biológicas (límites, necesidades, tipo de alimentación, etc.) para lo que nos podemos referir, de manera básica, al esquema adjunto.

A un nivel más global podríamos considerar los siguientes puntos:

- Trabajar a favor y no en contra de la naturaleza, creando espacios en los que se puedan desarrollar los procesos biológicos que nos interesan, respetando el orden que estos tendrían si fuesen directamente al medio (como una primera fase anaerobia y una segunda aerobia, etc.). Teniendo en cuenta, en este sentido, que el fin de una actuación de ingeniería ecológica no es controlar todos y cada uno de los procesos que se desarrollan de una forma reduccionista, sino que sería más bien una cultura equivalente al “no hacer” del taoísmo. Generamos espacios diversos, posibilitamos infinidad de procesos, pero los estudiamos no parte por parte sino como un todo, de forma holística, como decíamos en el punto anterior, como un supraorganismo por contra de una secuencia cuadrada de procesos físico – químico - biológicos parciales.
- Así, estamos trabajando con un ecosistema o conjunto de ecosistemas. Esto aporta dos factores de una gran importancia, como son la autorregulación y la

resiliencia. Es la depuradora un sistema autoregulado, como lo es cualquier ecosistema, por ejemplo a partir de la diversidad de especies presentes, y por su organización como cadena trófica (si hay una explosión demográfica de un organismo, comportará un crecimiento de las poblaciones consumidoras de éste, que lo devuelvan a niveles normales, y viceversa) entre otros muchos mecanismos de regulación. La resiliencia, partiendo de estos mecanismos de autorregulación, será la capacidad del sistema en sentido global (el supraorganismo) de modificar su composición individual para adaptarse a cambios en el agua de llegada, permitiéndole soportar fuertes alteraciones, y que por el mismo vuelva al punto inicial (o a un nuevo estado de equilibrio más adecuado a las nuevas características).

Estas características, junto a las relaciones que se generen entre el sistema y el exterior (incremento de la humedad, regulación de temperaturas absolutas, punto de bebida para fauna útil, incremento de la biodiversidad – estabilidad - de la finca, etc.) deben dar como resultado un sistema armónico, de mínima intervención por nuestra parte, en el que nos limitamos a favorecer los procesos que nos son más beneficiosos.

En definitiva debemos generar un espacio que incentive a la naturaleza a establecer los mecanismos diversos con los que cuenta para aprovechar estos recursos , dejando siempre un espacio para la diversidad (física, química y biológica) que actúe como garantía frente a futuros cambios / crisis.