

Capítulo 2

Introducción a la Regeneración y Reutilización de las Aguas Residuales

2.1 Introducción

El propósito del presente capítulo es ofrecer una revisión de la literatura sobre las experiencias internacionales en la regeneración y reutilización de aguas residuales. Primeramente se analizan las diferentes definiciones relacionadas con la regeneración, la reutilización y el reciclaje de aguas residuales realizadas por diversos expertos, tanto en el ámbito técnico como en el legal, asimismo se discuten las bases teóricas que sustentan la actual gestión integral del agua.

Respecto a la experiencia internacional, se realiza una breve reseña histórica de la evolución del saneamiento, la regeneración y la reutilización de las aguas residuales, se analizan las experiencias de algunos países de obligada referencia en el campo de la regeneración y reutilización de las aguas residuales y, finalmente se estudian los avances más recientes, que con respecto a las diferentes reutilizaciones se han llevado a cabo en distintas partes del mundo.

En la antigüedad, y antes del advenimiento de las grandes civilizaciones, la relación del hombre con el agua era simple y directa. No se necesitaban bases para dicha relación. El hombre la tomaba de la fuente en la cantidad requerida, o la utilizaba para transportarse o como energía motriz, estando únicamente limitado por los aspectos tecnológicos, por su capacidad de trabajo y por los recursos disponibles.

Esta visión ha cambiado en la actualidad. Los problemas técnicos para obtener agua están básicamente solucionados, desde la perforación de un pozo profundo o la obra de toma de un río, hasta la desalación de agua de mar o el transporte y descongelamiento de masas de agua congelada. Sin embargo, el problema al que seguimos enfrentándonos es el relativo a la administración del recurso, dado que el agua es limitada tanto en cantidad como en calidad dentro de una zona determinada.

Por ejemplo, Biswas (1994) menciona que la gestión del agua se ha ignorado en el ámbito internacional y que la percepción, entre el norte y el sur, por la importancia del agua difiere sustancialmente. Además, el tema del agua está sujeto a macro problemas globales que tendrán un gran impacto sobre los proyectos de desarrollo hidráulico en el mundo, directa o indirectamente, esta situación puede provocar que el agua sea uno de los principales limitantes del desarrollo en el siglo XXI.

Biswas comenta que en el mundo se puede generar una crisis en términos de disponibilidad de agua, la cual ya se ha manifestado en varios países, y no obstante esta realidad, se le ha dado más importancia a la crisis energética, la alimenticia, la ambiental, el cambio climático, la deforestación y la destrucción de la capa de ozono, sin que la problemática del agua haya logrado atraer la atención internacional, como lo muestra su ausencia en la agenda de diversos foros internacionales.

2.2 Conceptos fundamentales.

La mayoría de las naciones, con mayor o menor grado de industrialización, tienen grandes problemas para garantizar un adecuado suministro de agua, así como para asegurar la protección de las fuentes de suministro frente a la creciente contaminación de las aguas. Estos problemas en su conjunto han servido como catalizadores al concepto de regeneración y reutilización del agua y lo han elevado a un plano de primordial importancia, considerándolo como una prioridad en el ámbito internacional.

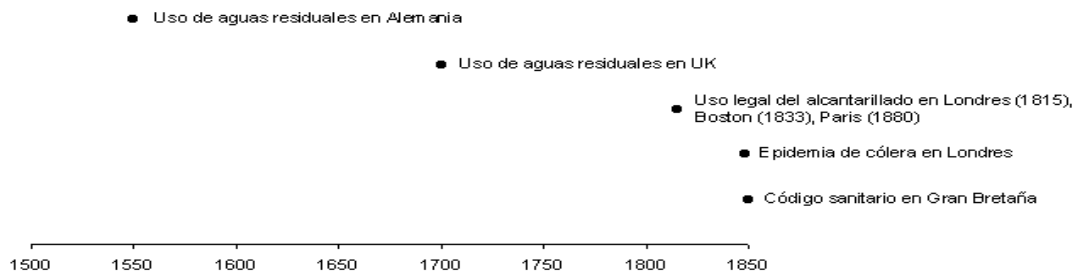
El ciclo hidrológico incluye toda una serie de fenómenos físicos, químicos y biológicos que de manera natural permiten mantener las cantidades de agua dulce en la biosfera. Así mismo, este ciclo regenera de forma natural la calidad del agua mediante los fenómenos de dilución, asimilación, dispersión, evaporación y condensación, de tal forma que, mientras la capacidad del sistema no sea sobrepasada, la naturaleza lleva a cabo la regeneración del agua hasta los niveles de calidad necesarios para mantener el equilibrio de los ecosistemas. El proceso de regeneración natural no sólo mejora la calidad del agua sino que, además, promueve la utilización de los componentes eliminados de la misma, así como su reubicación en lugares donde causen menos daño, como por ejemplo en las zonas arenosas y limosas de los ríos, o en los sedimentos de los mares y los océanos.

Las primeras evidencias de la reutilización de aguas residuales corresponden a la Grecia antigua. Estas evidencias históricas han sido recogidas y documentadas por Angelakis y Spyridakis (1996), Barty-King (1992), Asano y Levine (1996) y Asano (2001). Se han identificado tres etapas fundamentales en el desarrollo de la regeneración y reutilización de aguas residuales, las cuales son: 1) la época inicial de los sistemas de agua y saneamiento, que comprende el periodo del 3000 a.C. hasta 1850; 2) la época del gran avance sanitario, correspondiente al tiempo entre 1850 y 1950; 3) la época de la regeneración, la reutilización y el reciclaje de aguas residuales, de 1960 hasta nuestros días. La figura 2.1 presenta un cronograma de los principales eventos durante las épocas mencionadas, de las cuales podemos destacar:

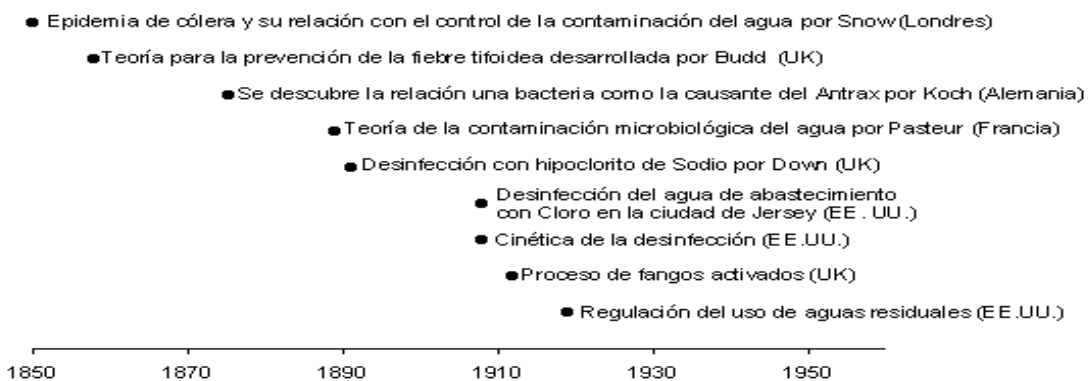
La época inicial de los sistemas de agua y saneamiento: 3000 AC a 1850

3000 AC. Civilización Minoica

97 DC. Comisión para el abastecimiento de agua a la ciudad de Roma



La época del gran avance sanitario: 1850 a 1960



La época de la regeneración, reciclaje y reutilización de aguas residuales: Después de 1960

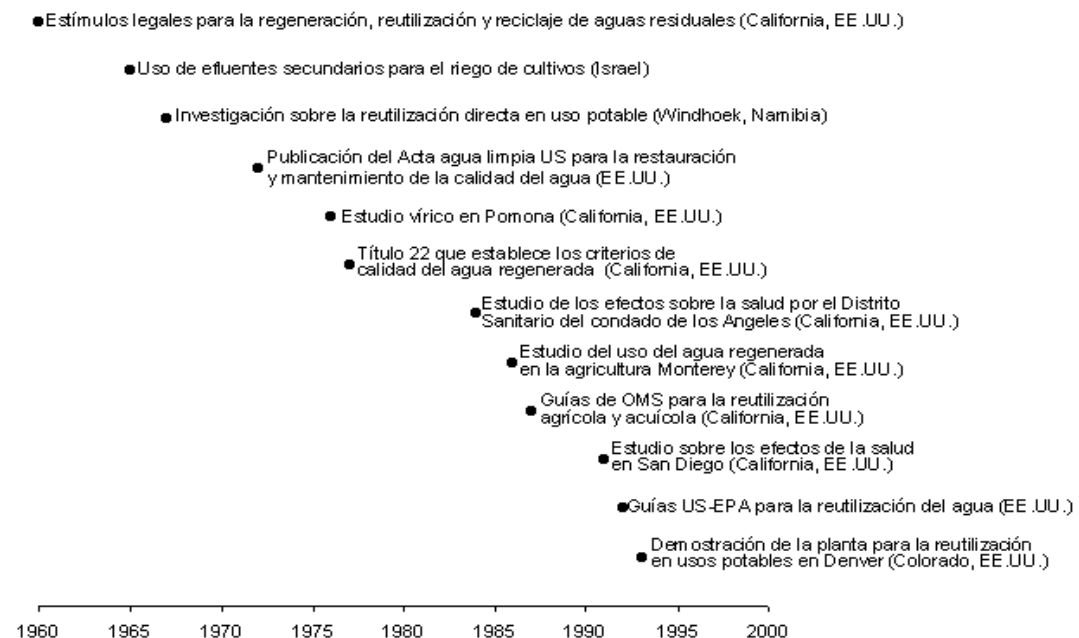


Figura 2. 1 Evolución de la regeneración y reutilización de las aguas residuales (Asano y Levine, 1996).

1. Época inicial de los sistemas de agua y saneamiento (3,000 a.C. a 1850). Vestigios de éstos sistemas, que datan de 3,000 a.C., se pueden encontrar en la Civilización Minoica en la Grecia Antigua. En el 97 d.C. existen evidencias de la comisión para el abastecimiento de agua a la ciudad de Roma por Sextus Julius Frontius. La disposición de las aguas residuales directamente sobre campos agrícolas se extiende como una solución de tratamiento en las antiguas granjas de Alemania e Inglaterra, entre 1550 y 1700.

A partir de 1800 se considera el uso legal del alcantarillado para el desalojo de los desechos en ciudades como Londres, Boston y París. Después de la epidemia de cólera en Londres entre 1848 y 1854 se publica el código sanitario en Gran Bretaña donde se establece “La lluvia al río y las aguas residuales al suelo”.

2. Época del gran avance sanitario (1850 - 1950). Acontecimientos importantes en esta época son el control de la epidemia del cólera en Londres por John Snow en 1850; el desarrollo de la teoría de la prevención de la fiebre tifoidea por Budd en Inglaterra; el avance de la microbiología con Koch en Alemania y Pasteur en Francia; el uso del cloro como desinfectante y el conocimiento de la cinética de la desinfección (Chick) y el uso de los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales en el año de 1904 por Ardem y Lockett en Inglaterra. En California surgen las primeras regulaciones para el uso de las aguas residuales en la agricultura.
3. Era de la regeneración, reciclaje y reutilización de las aguas residuales (A partir de 1960). La reutilización planificada de las aguas regeneradas empezó a principios de los años 20 en Estados Unidos, concretamente en los estados de Arizona y California, destinando el agua a usos agrícolas. En Colorado y Florida se desarrollaron sistemas para la reutilización en usos urbanos. La normativa para la regeneración y reutilización se inicia en California en la misma época. A partir de 1965, esta normativa impulsa de manera decisiva la regeneración, el reciclaje y la reutilización de las aguas residuales.

En la actualidad, se entiende por “*agua regenerada*” aquel agua residual que después de ser sometida a un proceso de tratamiento, su calidad es satisfactoria para un uso en particular (Asano, 1998). Es decir, el agua regenerada no es otra que “*agua residual tratada*” o “*efluente tratado*”, que satisface los criterios para poder ser usada nuevamente. Sin embargo, se prefiere el término agua regenerada por las siguientes razones (Grobicki, 1999): 1) Conlleva una connotación ambiental positiva y evita las connotaciones sociales negativas que los términos “reutilización de las aguas residuales” o “reutilización del efluente tratado de las aguas residuales” provocan en mucha gente y, 2) es un término cada vez más usado en la literatura.

El desarrollo actual en el campo de la tecnología de regeneración permite obtener efluentes de agua regenerada de diversas calidades, incluso hasta un nivel tan alto como la del agua potable, la finalidad es conseguir un producto que sea adecuado para ser empleado en diferentes tipos de reutilización (industrial, agrícola, recreativo, municipal, etc.).

Ahora bien con respecto a la utilización de residuos, en el área de los residuos sólidos las definiciones son bastante claras y lógicas. Para los expertos en la fabricación y transformación de los materiales *“la reutilización”* se conceptualiza como la recuperación de piezas y componentes durante el desmontaje para después utilizarlos como recambio o para darles una nueva función sin cambiar su constitución física, en resumen el material no es “regenerado” para su reutilización y guarda concordancia con la raíz de la palabra, es decir se le vuelve a dar un uso al material original. Por otro lado, *“el reciclaje”* es la recuperación de los materiales al fin de la vida de los productos para volver a utilizarlos como materia prima en nuevos procesos de fabricación, es decir para reciclar un material este sufre un proceso de acondicionamiento (es regenerado) para volver a ser utilizado como materia prima (Riba y Pagès, 1998).

Mientras que en el ámbito hidráulico, la *“reutilización de agua”* es la aplicación del agua residual o regenerada en un uso beneficioso, destaca que indistintamente se puede reutilizar agua ya usada o regenerada. El *“reciclaje de agua”*, en contraste con la reutilización, normalmente involucra a un usuario, para lo cual el efluente es captado y reconducido para ser nuevamente empleado en el uso original (Asano, 1991). En este contexto, el reciclaje de agua es predominantemente una practica del sector industrial, por ejemplo la industria del papel. No obstante se denomina reutilización de agua en usos publico-urbanos siendo el municipio el usuario (único usuario) y no se le denomina reciclaje de agua en usos público-urbanos. Estas diferencias provocan confusiones y en concordancia con el área de materiales lo correcto sería hablar de *“reutilización de aguas residuales”* y de *“reciclaje de aguas regeneradas”*.

Ahora bien debido a la propiedad de las aguas los expertos consideran que la reutilización se puede dar de manera directa o indirecta. La reutilización *“directa”, “planificada”* (Asano, 1998) o *“artificial”* (Embí, 2000) requiere de la existencia de tuberías u otros medios de conducción para distribuir el agua regenerada que garantice el control de la propiedad del agua. Mientras que la reutilización *“indirecta”* (Asano, 1998) o *“natural”* (Embí, 2000) sucede cuando el vertido de un efluente, con o sin tratamiento, es depositado en una masa de agua y ésta es extraída aguas abajo.

Este concepto de reutilización planificada tiene su razón de existir en países como EE.UU. debido a su tipo de régimen jurídico donde la propiedad de las aguas es en general de particulares y por lo tanto para mantener el derecho de propiedad la conducción del agua debe hacerse por conducciones privadas. Mientras que en países como México donde el agua es considerada un recurso de propiedad nacional, para lo cual la Comisión Nacional del Agua es

el organismo a escala nacional que administra y controla las aguas del país, puede utilizar los cauces naturales para conducir aguas regeneradas y ceder derechos de concesión aguas abajo del punto de vertido sin con ello general un conflicto jurídico.

Todas estas reflexiones no solamente son un problema de tipo semántico, sino que esta falta de homogeneidad en las definiciones origina en el ámbito internacional discrepancias en la información provocando dificultad para la comparación de cifras. Estas matizaciones ponen de manifiesto que en el ámbito del estudio del medio ambiente el sector hidráulico va totalmente desligado de los demás sectores de esta área del conocimiento.

La figura 2.2 muestra el ciclo que sigue el agua tanto superficial como subterránea a través de los diferentes usos a los que se destina, con el consecuente deterioro del medio ambiente, sin embargo, al integrar las tecnologías de regeneración, reciclaje y reutilización como parte del ciclo hidrológico se puede lograr mantener la calidad del agua que permita el equilibrio de los ecosistemas y el suministro del recurso, dentro de un concepto de sostenibilidad.

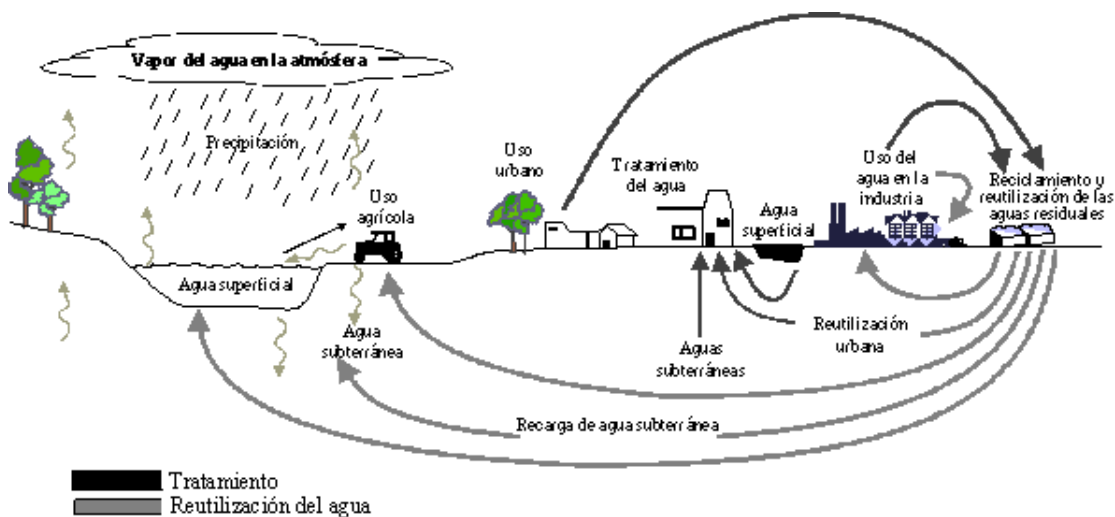


Figura 2. 2 Ciclo hidrológico y su relación con el tratamiento, la regeneración y la reutilización de las aguas residuales (Asano, 1998).

El concepto de sostenibilidad involucra un desarrollo económico que satisfaga las necesidades del presente, sin comprometer las de generaciones futuras. Aunque la definición de desarrollo sostenible es poco precisa respecto a como se alcanza operativamente, no cabe duda que debe existir implícitamente una planificación que permita obtener soluciones inmediatas a un problema de corto plazo que no sea más costoso a largo plazo.

La reutilización del agua regenerada no ha sido una tarea fácil, pues se deben cumplir técnicamente con varios requisitos: (1) que satisfaga la calidad de agua para el uso que se le intenta dar, (2) que no deteriore o afecte los ambientes a los que llega, (3) que no cause problemas de salud a los seres que están en contacto con la actividad a la que se le destine, y

(4) que satisfaga el concepto de sostenibilidad. La regeneración y reutilización de las aguas residuales tienen un enorme potencial para la recuperación de recursos hídricos y la disminución de la contaminación.

La reutilización de las aguas residuales, ya sean sin tratar o regeneradas, ha sido una práctica muy común en la gran mayoría de los países. Sin embargo, a lo largo de estos últimos años la reutilización planificada de aguas regeneradas ha cobrado un significativo auge, debido básicamente a la escasez del recurso hídrico; la importancia primordial de esta reutilización planificada es la de no perder el control y propiedad sobre estas aguas.

2.3 La gestión del agua. Fundamentos

La gestión del agua, de acuerdo con la Red Internacional de Organismos de Cuenca (RIOC), permite adoptar los siguientes puntos de vista (Mestre, 1999):

1. **Gestión Integral.** Se relaciona con los criterios físicos (integrar la gestión de las aguas subterráneas con las superficiales, la calidad con la cantidad del agua, los distintos puntos de una cuenca que están vinculados entre sí y las estaciones del año), con los criterios institucionales (debe existir un marco institucional que armonice y coordine en aras de una mejor gestión del agua en beneficio de la sociedad y la economía), y con los criterios de participación pública (es necesario fomentar soluciones consensuadas cuando existan conflictos entre usuarios y entre instituciones).
2. **Gestión Sostenible.** Corresponde al discurso de agua suficiente, de calidad adecuada y de disponibilidad en forma oportuna para satisfacer las actividades sociales y económicas del hombre de hoy y mañana.
3. **Gestión Eficiente.** Es el resultado de la búsqueda de soluciones a la escasez del agua; el objetivo es obtener una mayor productividad o beneficio social por unidad de volumen en los distintos usos y regiones.
4. **Gestión Equitativa.** No busca un trato igualitario para las partes, los usos y los usuarios, sino establecer pactos sostenibles entre usuarios, regiones y aún naciones. Se basa en el principio de buena voluntad y no-beligerancia, en el que la negociación entre las partes les lleva a ceder para también ganar.
5. **Gestión por Cuenca.** Reconoce las rutas que el agua sigue según su ciclo hidrológico y medio geográfico, que define regiones, humedad, cubierta vegetal y fauna, y determina potencialidades y restricciones. Reconoce que los actores de una cuenca forman una colectividad que debe realizar una gestión armónica del agua.

La figura 2.3 resume y esquematiza las diversas perspectivas con que debe ser abordada la gestión integral del agua. De acuerdo con estos conceptos, la RIOC establece como los objetivos básicos de la gestión del agua (Mestre, 1999):

1. El agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos y debe reconocerse como un bien económico.
2. Para gestionar este recurso en términos sostenibles es necesario reconciliar los intereses en competencia.
3. El acuerdo de intereses sólo se logra si las partes dialogan y acuerdan civilizadamente coordinar sus demandas de agua.



Figura 2. 3 La gestión del agua (elaboración propia).

Ahora bien, para alcanzar estos objetivos, es importante comprender la forma en que se encuentra el sector hidráulico y su vinculación con las instituciones del agua. Ariel Dinar y sus colaboradores han realizado varios estudios con la finalidad de evaluar el funcionamiento de estas instituciones (Saleth y Dinar 1999, Saleth y Dinar 2000, Dinar y Subramanian 1998 y Dinar 1998). Estos investigadores consideran que el sector del agua está formado por todos los agentes involucrados con el recurso hídrico, en primer término, por los usuarios tanto de usos consuntivos (agricultura, industria, domestico) como de usos no-consuntivos (generación de energía, navegación, recreación, ecológicos), en segundo término por los poderes de gobierno en sus diferentes niveles (federal, estatal, municipal, local) y finalmente por la sociedad representada básicamente por organizaciones no gubernamentales (ONG's), organizaciones del sector privado y los medios académicos.

Por otro lado, una institución se concibe en un sentido mucho más amplio que una simple organización. Las instituciones fijan las reglas del juego y las definen, de tal modo, que en un

contexto dado, se establece lo que los individuos pueden y no pueden hacer, es decir, delimitan los sistemas de acción para la toma de decisión individual y colectiva.

Una variedad de factores tales como: antecedentes históricos, negociaciones políticas, condiciones demográficas, disponibilidad de recursos, y desarrollo económico, entre otros, afectan a las instituciones. De tal forma, y debido a la influencia de estos factores, la institución puede ser calificada como una entidad, definida por tres componentes principales: 1) ley, 2) política, y 3) administración.

Estableciendo una noción tan general de la institución al contexto particular del sector del agua, la institución del agua puede ser caracterizada en términos de la legislación del agua, de la política del agua, y de la administración del agua (Saleth y Dinar 1999). La figura 2.4 presenta estos tres componentes y los principales aspectos de cada componente.

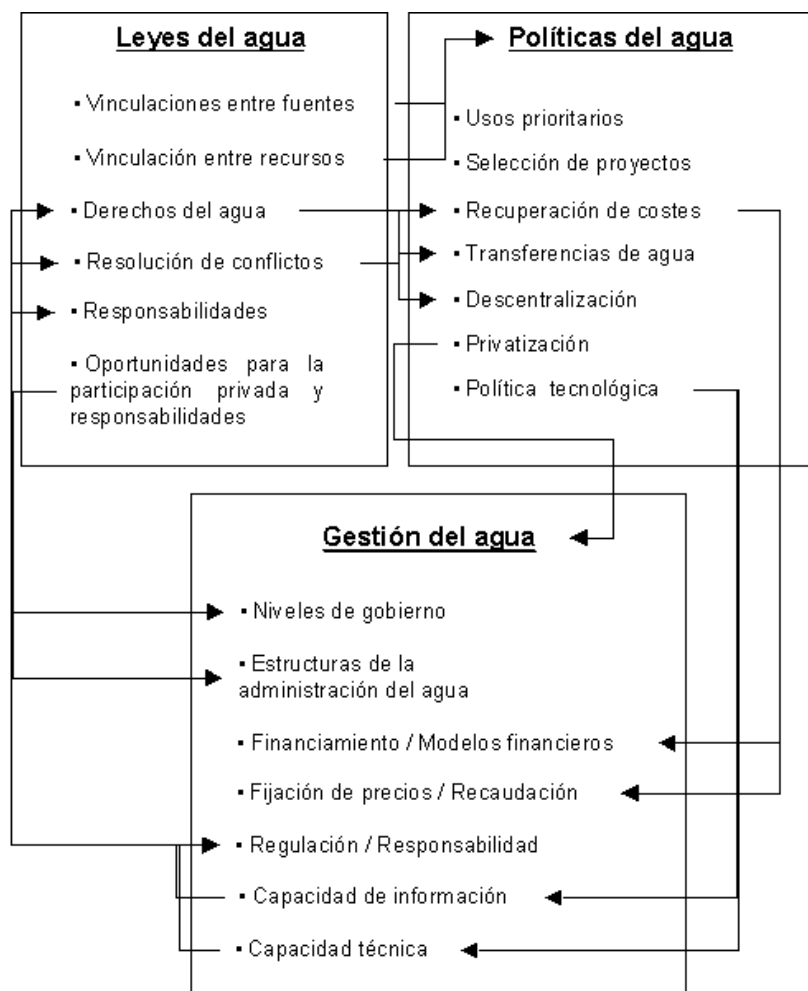


Figura 2. 4 La institución del agua, componentes y principales aspectos (Saleth y Dinar 1999).

Sin embargo, la eficacia total de cada uno de los tres componentes institucionales depende no solamente de la eficacia de sus aspectos institucionales constitutivos, sino también de la fuerza de interacción con otros componentes institucionales. De igual manera, la eficacia de la

institución del agua dependerá de los efectos individuales y de interacción de los niveles de funcionamiento de los tres componentes institucionales. Además, el funcionamiento de la institución del agua también se ve afectado por la situación socioeconómica general, la política, y los recursos relacionados con el medio ambiente.

Para mantener la eficacia, la institución del agua debe evolucionar continuamente en relación con cuatro factores; 1) la capacidad de adaptación, 2) la eficacia para la innovación, 3) la capacidad para el cambio, y 4) la capacidad de solución a nuevos problemas.

Mientras que la capacidad de adaptación es indicativa de la naturaleza flexible de la institución del agua para cambiar en el tiempo y el espacio, la eficacia para la innovación permite que adquiera nuevas estructuras institucionales más apropiadas. De forma semejante, la capacidad para el cambio sugiere la ausencia de la rigidez institucional y, la capacidad de solución a nuevos problemas indica su eficacia de funcionamiento a los cambios dentro del sector del agua.

Inspirados en los criterios establecidos por Saleth y Dinar (1999) para la institución del agua, consideramos que para el caso particular de la reutilización de aguas regeneradas estos tres aspectos institucionales estarían dados principalmente por:

1. Leyes del agua

- Vinculaciones entre fuentes.- El reconocimiento jurídico de la existencia de fuentes alternativas de agua, sus características y su incorporación dentro del balance hidráulico.
- Vinculación entre recursos.- El reconocimiento de niveles de calidad en el recurso, un balance hidráulico que represente estos niveles, y el posible intercambio de volúmenes de agua entre usuarios que requieran la misma calidad dentro de una misma unidad de gestión.
- Derechos del agua.- La creación expresa de títulos de propiedad de aguas regeneradas, distintas obviamente a los títulos de propiedad de aguas o aguas residuales.
- Resolución de conflictos.- Marcar una nueva reasignación de aguas, partiendo del supuesto de respetar los derechos adquiridos hasta el momento, pero creando un horizonte de planificación a partir del cual no sean comprometidas las aguas residuales generadas, pues en un futuro serán la materia prima para la producción y posterior reutilización de las aguas regeneradas.
- Responsabilidades.- Establecer las entidades responsables de la producción de agua regenerada, así como los mecanismos para la verificación y control de la calidad en la producción.

2. Políticas del agua

- Usos prioritarios.- Establecer la definición de usos prioritarios con base en las calidades de agua y fomentar la utilización prioritaria de agua regenerada sobre las fuentes convencionales de suministro.
- Selección de proyectos.- Incorporar en los lineamientos de selección de proyectos la comparación de proyectos de abastecimiento y depuración versus proyectos de regeneración y reutilización.
- Recuperación de costes.- Diseñar los estudios de mercado adecuados para evaluar la solvencia de los usuarios de aguas regeneradas que garanticen el pago de las cuotas establecidas para el buen funcionamiento del sistema.
- Transferencias de agua.- Fomentar la transferencia e intercambio de aguas regeneradas por aguas de fuentes convencionales.
- Política tecnológica.- Fomentar la investigación, desarrollo y transferencia tecnológica de sistemas de regeneración y reutilización del agua residual.

3. Gestión del agua

- Financiamiento / Modelos financieros.- Crear y fomentar esquemas de financiamiento que permitan hacer de los proyectos de regeneración y reutilización del agua residual, empresas atractivas para la inversión privada y pública.
- Fijación de precios / Recaudación.- Establecer políticas de tarificación adecuadas que permitan la recuperación de los costes, o en su defecto los subsidios pertinentes que permitan al agua regenerada ser competitiva.
- Capacidad de información.- Fomentar la difusión de las características, ventajas en su uso y al medio ambiente y los niveles de confianza en la utilización del agua regenerada, que permitan al usuario estar plenamente informado para la elección entre la utilización de agua convencional o agua regenerada.
- Capacidad técnica.- Contar con una red de especialistas que permitan dar soporte a los sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales.

La regeneración y reutilización de aguas residuales tienen un papel cada vez más importante dentro de la administración y manejo del agua, especialmente en aquellos países donde existen problemas de escasez, o bien en los que las fuentes convencionales de suministro han sido contaminadas. En los países industrializados se han desarrollado muchos proyectos e investigaciones para la regeneración de las aguas residuales, obteniendo además de la reutilización del agua regenerada para satisfacer demandas, los beneficios adicionales de protección al ambiente y prevención de riesgos a la salud. En los países en desarrollo también

es necesario cubrir estos aspectos, solo que, debido a las carencias económicas y tecnológicas, se requiere utilizar sistemas de menor coste y tecnificación.

La práctica de regenerar y reutilizar aguas residuales esta surgiendo como una nueva fuente de suministro técnicamente viable. Esto conlleva que esta práctica debe ser incluida dentro de la gestión integral del agua y asumida dentro de la estructura de las instituciones del sector hidráulico.

2.4 Experiencias internacionales sobre la regeneración y reutilización de las aguas residuales

En la actualidad ya son muchos los países en donde se realizan diferentes tipos de regeneración y reutilización de aguas residuales. Existen muchos estudios que justifican y apoyan esta práctica.

Dentro de esta investigación, se consideró que las experiencias internacionales sobre la regeneración y reutilización de aguas residuales estarían claramente documentada en la literatura especializada. Por lo cual se realizó una búsqueda exhaustiva, con el fin de conocer la situación que guarda esta práctica a escala internacional en los últimos 10 años, sobre las bases de datos de la Asociación Internacional del Agua (IWA, 2003).

De esta búsqueda bibliográfica solamente 7 países exponen, de manera general, la situación sobre la regeneración y reutilización de sus aguas residuales. Cuestión muy sorprendente si reflexionamos que este foro es considerado el más importante en materia de agua desde el punto de vista científico. Las exposiciones que recogen experiencias internacionales, resumidas pero que abordan el tema de manera global, han sido expuestas básicamente por Asano (2001), Lazarova et al (2001) y Anderson (2001). Particularmente este último trabajo resume la experiencia internacional de 6 países.

Inspirados en el trabajo de Anderson se inició, en esta tesis, una investigación más extensa partiendo del siguiente supuesto: “La reutilización de las aguas residuales debe darse primordialmente en aquellos lugares donde la disponibilidad de agua es baja”, desde esta premisa se identificaron en el ámbito mundial aquellas zonas donde la precipitación fuese menor a los 200 mm de lluvia. La figura 2.5 presenta la distribución de precipitaciones anuales en el mundo y la ubicación de aquellos lugares donde existe alguna evidencia documental sobre la reutilización de aguas regeneradas. Es importante destacar, que en los 5 continentes existen lugares donde la regeneración y reutilización de las aguas residuales se lleva a cabo.

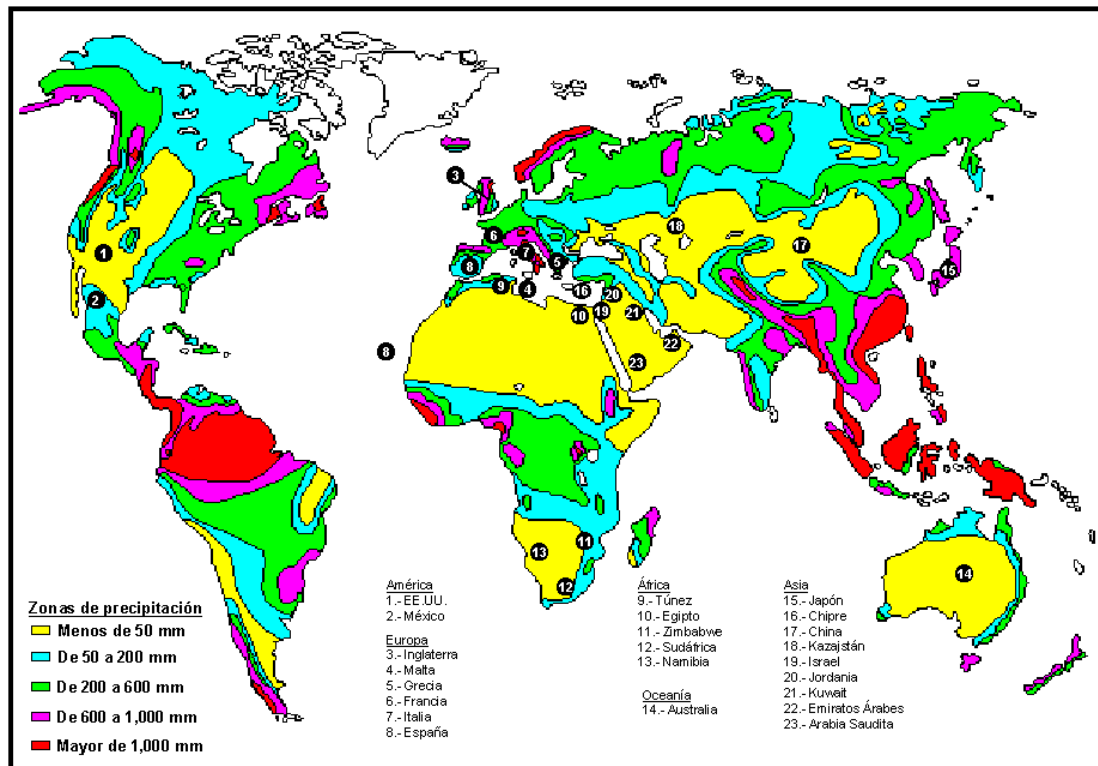


Figura 2. 5 Países donde existe evidencia documental sobre la práctica de regenerar y reutilizar aguas residuales (Elaboración propia, mapa base: UNEP, 2002).

Ubicando los países con una precipitación menor a los 200 mm, se realizó una exploración general soportada en los buscadores habituales de Internet, hallándose información muy variada e interesante de diversas fuentes. En general esta información procedía de organismos internacionales como la ONU, la UNESCO o la FAO. Asimismo, se localizó información en congresos internacionales sobre recursos hídricos y en páginas web sobre Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR) específicos.

Producto de esta investigación, a continuación se resumen los principales resultados y posteriormente se detalla país por país la información más destacada. Cabe mencionar que ha sido complicado estandarizar un formato único para la presentación de la información obtenida debido a la diversidad de las fuentes consultadas.

En la actualidad, la experiencia internacional sobre la regeneración y reutilización de aguas residuales es muy amplia; existe una veintena de países que realizan de alguna manera esta práctica. La tabla 2.1 presenta algunas de las características de los 87 SRRAR que han sido identificados mediante esta investigación. Se observa que las prácticas de reutilización en la irrigación agrícola y jardinería son mayoritarias, seguidas por la reutilización ambiental e industrial. Del total, 20 SRRAR reutilizan cada uno más de 100,000 m³/día de agua regenerada.

Continúa tabla 2.1.

Algunos ejemplos de Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales en el mundo. (Elaboración Propia)

No.	Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales	País	Caudal (m³/día)	Reutilización							Referencia
				Irrigación		Industrial (3)	Usos Urbanos		Ambiental		
				Agrícola (1)	Jardinería (2)		No Potables (4)	Potables (5)	Recarga de Acuíferos (6)	Aguas superficiales (7)	
31	St. Cristophe-Aosta-Quart	Italia	32,600								Barbagallo et al, 2001
32	Essex and Suffolk Water (ESW)	Inglaterra	30,000								Lazarova et al, 2001
33	La china Madrid	España	25,500								Olcinas, 2002
34	PEMEX Salamanca	México	21,600								Experiencia Profesional
35	San Juan de Aragón	México	20,547								DGCOH, 2003
36	Refinería de Petróleo de Chevron, Cal.	EE.UU.	20,450								EBMUD, 2003
37	Coyoacán	México	17,590								DGCOH, 2003
38	Aguas Inds. de Monterrey	México	17,280								CNA, 2002a
39	Crisoba	México	17,280								CNA, 2002a
40	Tenerife	España	16,500								Olcinas, 2002
41	Gran Canaria	España	16,500								Olcinas, 2002
42	Lechería	México	12,960								CNA, 2002a
43	Ciudad Deportiva	México	12,857								DGCOH, 2003
44	Prato	Italia	10,500								Barbagallo et al, 2001
45	Piombino	Italia	10,000								Barbagallo et al, 2001
46	San Luis Tlaxiátemalco	México	8,546								DGCOH, 2003
47	Chapultepec	México	7,940								DGCOH, 2003
48	Vallejo	México	7,344								CNA, 2002a
49	Bahía de Homebush, Australia	Australia	7,000								Andeson, 2001
50	Acueducto de Guadalupe	México	6,596								DGCOH, 2003
51	Rouse Hill	Australia	6,300								Sydney Water, 2003
52	Port Elizabeth	Sudáfrica	5,000								Lewin et al, 2002
53	Ciudad de Fukuoka.	Japón	4,500								Ogoshi et al, 2001
54	Sn Juan Ixhuatepec	México	4,320								CNA, 2002a
55	Chiba Pref. Nuevo Centro de Makahari	Japón	4,120								Ogoshi et al, 2001
56	San Pedro Atocpan	México	3,024								DGCOH, 2003
57	Central eléctrica de Eraring	Australia	2,750								Cole, 1994
58	San Andrés Mixquic	México	2,592								DGCOH, 2003
59	Campo Militar No 1	México	2,160								DGCOH, 2003
60	Ciudad de Kobe en la Isla de Rokko.	Japón	2,100								Ogoshi et al, 2001

Continúa tabla 2.1

Algunos ejemplos de Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales en el mundo. (Elaboración Propia)

No.	Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales	País	Caudal (m ³ /día)	Reutilización							Referencia
				Irrigación		Industrial (3)	Usos Urbanos		Ambiental		
				Agrícola (1)	Jardinería (2)		No Potables (4)	Potables (5)	Recarga de Acuíferos (6)	Aguas superficiales (7)	
61	Reclusorio Sur	México	1,607								DGCOH, 2003
62	Tlatelolco	México	1,534								DGCOH, 2003
63	Grammichele	Italia	1,500								Barbagallo et al, 2001
64	Bosque de las Lomas	México	1,480								DGCOH, 2003
65	El Rosario	México	1,396								DGCOH, 2003
66	Empuriabrava	España	1,100								Sala y Serra, 1998
67	Iztacalco	México	886								DGCOH, 2003
68	PEMEX	México	786								DGCOH, 2003
69	Castell-Platja de Aro	España	660								Sala y Serra, 1998
70	Abasolo	México	594								DGCOH, 2003
71	Pals	España	550								Sala y Serra, 1998
72	Sta. Cristina de Aro	España	550								Sala y Serra, 1998
73	San Miguel Xicalco	México	340								DGCOH, 2003
74	Lloret de Mar	España	280								Sala y Serra, 1998
75	Parres	México	138								DGCOH, 2003
76	Tossa de Mar	España	110								Sala y Serra, 1998
77	Colera	España	82								Sala y Serra, 1998
78	Namibia	Namibia	58								Van der Merwe y Harhoff, 1996
79	Port Bou	España	55								Sala y Serra, 1998
80	Port de la Selva	España	55								Sala y Serra, 1998
81	Cadaqués	España	55								Sala y Serra, 1998
82	Roses	España	55								Sala y Serra, 1998
83	H. Colegio Militar	México	N.D.								DGCOH, 2003
84	Tetelco	México	N.D.								DGCOH, 2003
85	La Lupita	México	N.D.								DGCOH, 2003
86	Santa Fe	México	N.D.								DGCOH, 2003
87	San Lorenzo	México	N.D.								DGCOH, 2003
TOTAL			5,451,106	33	36	23	17	1	5	20	

Categorías de la reutilización de aguas residuales municipales: 1) Irrigación agrícola: Irrigación en cultivos, Viveros comerciales, 2) Irrigación en jardinería: Parques, Jardines escolares, Jardines en calles y vías públicas, Campos de golf, Cementerios, Zonas verdes, Jardines residenciales, 3) Industrial: Enfriamiento, Calderas, Agua para el proceso industrial, Construcción, 4) Usos urbanos no potables: Protección contra incendios, Aire acondicionado, Agua para sanitarios, 5) Reutilización potable: Mezcla en el abastecimiento de agua, conexión directa a la conducción del suministro de agua, 6) Ambiental, Recarga de acuíferos: Recarga de acuíferos, Intrusión salina, Control de hundimientos, 7) Ambiental, Aguas Superficiales: Lagos y lagunas, Mejoramiento de humedales, Aumento del caudal ecológico, Acuicultura, Nieve artificial.

Existen básicamente dos zonas donde se resalta la práctica de regenerar y reutilizar las aguas residuales: 1) aquellas zonas continentales donde la precipitación es escasa. Excepto una pequeña fracción de Brasil, Chile y Argentina donde no se ha encontrado documentación que soporte esta práctica y 2) las islas donde debido posiblemente a la falta de infraestructura para la captación, la práctica de reutilización se convierte en una opción para el suministro de agua. El único caso documentado donde se realiza la reutilización potable directa es en Namibia, para todos los demás usos existen evidencias de la reutilización de las aguas regeneradas por varias partes del mundo. La tabla 2.2 resume los usos a los que se destinan las aguas regeneradas en los países analizados.

Tabla 2. 2
Reutilización de Aguas Residuales en el mundo (Elaboración Propia).

País	Reutilización						
	Irrigación		Industrial (3)	Usos Urbanos		Ambiental	
	Agrícola (1)	Jardinería (2)		No Potables (4)	Potables (5)	Recarga de Acuíferos (6)	Aguas superficiales (7)
Arabia Saudita							
Australia							
China							
EAU							
EE.UU.							
España							
Francia							
Inglaterra							
Israel							
Italia							
Japón							
Jordania							
Kazajstán							
México							
Namibia							
Sudáfrica							
Zimbabwe							

Categorías de la reutilización de aguas residuales municipales: 1) Irrigación agrícola: Irrigación en cultivos, Viveros comerciales, 2) Irrigación en jardinería: Parques, Jardines escolares, Jardines en calles y vías públicas, Campos de golf, Cementerios, Zonas verdes, Jardines residenciales, 3) Industrial: Enfriamiento, Calderas, Agua para el proceso industrial, Construcción, 4) Usos urbanos no potables: Protección contra incendios, Aire acondicionado, Agua para sanitarios, 5) Reutilización potable: Mezcla en el abastecimiento de agua, conexión directa a la conducción del suministro de agua, 6) Ambiental, Recarga de acuíferos: Recarga de acuíferos, Intrusión salina, Control de hundimientos, 7) Ambiental, Aguas Superficiales: Lagos y lagunas, Mejora de humedales, Aumento del caudal ecológico, Acuicultura, Nieve artificial.

De los 23 países donde se encontró alguna referencia sobre la práctica de la regeneración y reutilización de las aguas residuales, solamente 15 de ellos presentan los datos suficientes para poder realizar un análisis en el ámbito nacional. La tabla 2.3 presenta los volúmenes extraídos y reutilizados de 15 países estudiados. Con relación exclusivamente al volumen reutilizado de agua regenerada, en el ámbito internacional los países con mayor porcentaje (respecto al universo de estos 15), son México, EE.UU. y Jordania con 31% (1,290 Mm³/año), 30% (1,264 Mm³/año) y 6% (232 Mm³/año), respectivamente (ver figura 2.6).

Sin embargo, estas cifras cambian considerablemente si se analiza el volumen de agua regenerada y reutilizada contra volumen extraído de las fuentes convencionales. La figura 2.7

muestra que Kuwait, Qatar, Jordania e Israel son los países donde la reutilización de aguas residuales es una fuente importante de suministro, ya que llegan a reutilizar con respecto a su extracción total, el 28.9%, 21.2%, 19.5% y 9.6% respectivamente. Estas aguas regeneradas son una fuente de suministro para los diferentes usos demandados en el país. Por esto, y al nivel de nuestro análisis, se podría concluir que a medida que el recurso presenta problemas de disponibilidad, la regeneración y reutilización de las aguas residuales pasa a ser considerada como una fuente alternativa significativa en el suministro de agua.

Tabla 2. 3
Volúmenes extraídos y reutilizados de aguas regeneradas en el mundo (Elaboración propia).

País	Volumen Extraído		Volumen Reutilizado	
	(Mm ³ /año)	Referencia	(Mm ³ /año)	Referencia
México	94,400	UNESCO, 2003	1,290	CNA, 2002a
EEUU	512,000	UNESCO, 2003	1,264	USGS, 1995
Jordania	1,190	UNESCO, 2003	232	Bahri, 2001
España	44,100	UNESCO, 2003	230	Olcinas, 2002
Japón	88,600	UNESCO, 2003	206	Ogoshi et al, 2001
Israel	2,030	UNESCO, 2003	194	Grobicki y Cohen, 1999
Arabia Saudita	23,100	UNESCO, 2003	150	Al-Zubari, 1997
Sudáfrica	14,500	UNESCO, 2003	150	Grobicki y Cohen, 1999
Túnez	3,140	UNESCO, 2003	140	Bahri, 2001
Kuwait	412	Al-Zubari, 1997	119	Bahri, 2001
Qatar	439	Al-Zubari, 1997	93	Al-Zubari, 1997
Emiratos Árabes Unidos	2,062	Al-Zubari, 1997	62	Al-Zubari, 1997
Omar	783	Al-Zubari, 1997	22	Al-Zubari, 1997
Australia	24,900	UNESCO, 2003	18	Grobicki y Cohen, 1999
Bahrain	287	Al-Zubari, 1997	13	Al-Zubari, 1997

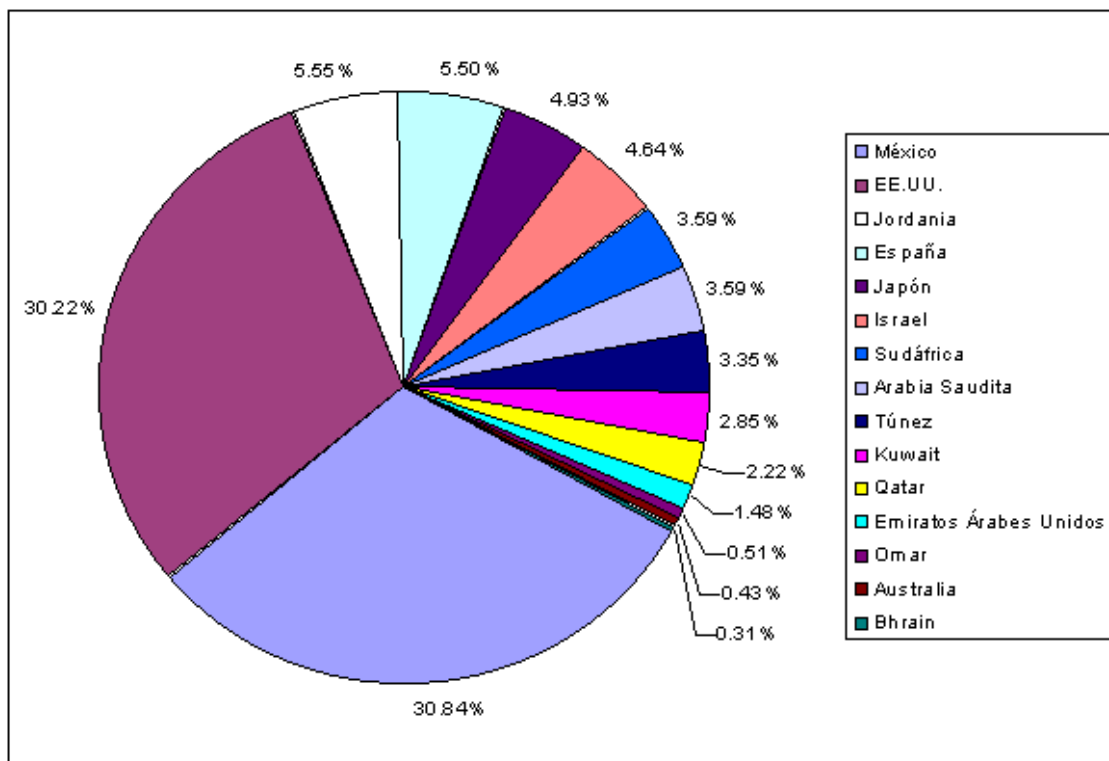


Figura 2. 6 Distribución de la reutilización de aguas regeneradas en el mundo (Elaboración propia).

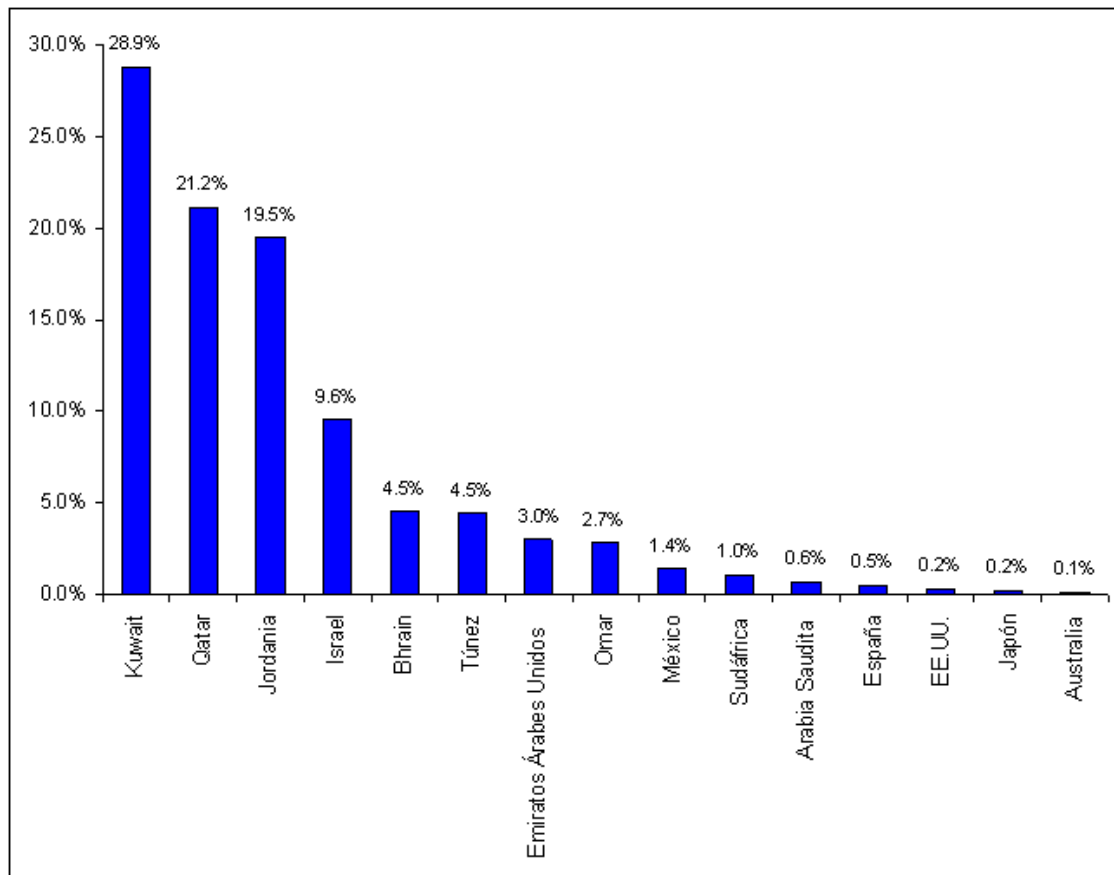


Figura 2. 7 Porcentaje de aguas regeneradas reutilizadas con respecto al volumen total de aguas extraídas (Elaboración propia).

Queda de manifiesto que la regeneración y reutilización de las aguas residuales es cada vez más relevante, sobre todo en aquellas zonas donde la posibilidad de acceder a otras fuentes de suministro es cada vez más complicada.

Una buena gestión del agua, donde el intercambio de usos permita sustituir aguas regeneradas por aguas de fuentes convencionales, permitirá liberar volúmenes de agua para usos prioritarios como el suministro de agua para el consumo humano, ya que la reutilización de aguas regeneradas de manera directa o indirecta para el consumo humano sigue incipiente debido a motivos sanitarios y a la percepción negativa de los consumidores.

Los avances tecnológicos y el abaratamiento de la tecnología permite cada vez más el impulso de SRRAR; existen indicios de que los costes de regeneración y reutilización, en algunas zonas, empiezan a ser inferiores a los del transporte de agua procedente de fuentes convencionales que se encuentran a grandes distancias.

La regeneración y reutilización de las aguas residuales han encontrado un espacio en los países con recursos hídricos escasos. En algunos países de África, Oriente Medio y Asia han pasado a ser una fuente de suministro de gran relevancia, y se percibe un aumento exponencial, sobre todo con la aplicación de nuevas tecnologías como la ósmosis inversa. Países como Australia, Sudáfrica, México y los EE.UU. tienen previsto desarrollar, o incrementar, la reutilización del agua a largo plazo.

A continuación se detalla la información recopilada, analizada y sintetizada para cada uno de los países que fueron estudiados.

2.4.1 América.

Las experiencias en este continente son básicamente las realizadas en los Estados Unidos de Norteamérica y en México. Esto probablemente es debido a que tanto el sur de los EE.UU. como la parte central y norte de México son zonas áridas o semiáridas, lo que favorece el interés por regenerar y reutilizar las aguas residuales. A continuación se exponen los casos de estos dos países.

2.4.1.1 Estados Unidos de América.

Es el país con más sistemas de regeneración y reutilización implantados a gran escala, su incursión en la regeneración y reutilización planificada del agua residual data de 1912, siendo California el estado pionero en la materia. Según el estudio publicado por el U.S. Geological Survey (USGS) en EE.UU. existen 16,428 EDAR's públicas y 23,700 administradas por otras entidades, que en conjunto generan 52,652 Mm³/año de aguas regeneradas. (USGS, 1995).

La regeneración y reutilización de aguas residuales se han llevado a cabo para cubrir las necesidades en todos los usos posibles. De los 53 estados que conforman la Unión Americana, la reutilización de las aguas regeneradas se practica en 17 estados. En 1995 se reutilizaban, a escala nacional, 1,264 Mm³/año de aguas regeneradas; este volumen corresponde al 0.23% del agua extraída para satisfacer las demandas de los diferentes usos. En 5 años este porcentaje se ha incrementado al 1.5% (Kamizoulis et al. 2003). La tabla 2.4 presenta para estos 17 estados los volúmenes de agua regenerados y extraídos en 1995. En la figura 2.8 se puede observar el porcentaje de aguas reutilizadas en cada estado, destacando los estados de Florida (28%), California (22%), Arizona (21%), Texas (10%) y Maryland (7%).

La figura 2.9 presenta un análisis del porcentaje de reutilización de aguas regeneradas versus aguas extraídas, como se puede observar, Arizona (2.94%), Florida (1.49%), Nevada (1.04%), Maryland (0.91%) y Utah (0.87%), son los estados donde existe un mayor uso de aguas regeneradas con respecto al total de las aguas demandas.

Cabe señalar que el alto desarrollo económico y tecnológico de este país les ha permitido convertirse en un referente internacional de los sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales.

Tabla 2. 4
Estados de los EE.UU. donde se realiza la reutilización del agua regenerada (USGS, 1995).

Estado	Extraído (Mm ³ /año)	Reutilizado (Mm ³ /año)
Arizona	9,120	268
California	58,956	277
Colorado	17,725	14
Florida	23,377	348
Georgia	7,475	5
Hawaii	2,479	8
Kansas	6,730	10
Maryland	9,929	90
Nebraska	13,487	1
Nevada	2,954	31
Nuevo México	4,508	7
Carolina del Norte	11,932	2
Pensilvania	12,433	1
Carolina del Sur	7,964	28
Tennessee	12,973	0.1
Texas	38,019	123
Utah	5,729	50
Total en EE.UU.	55,5165	1,264

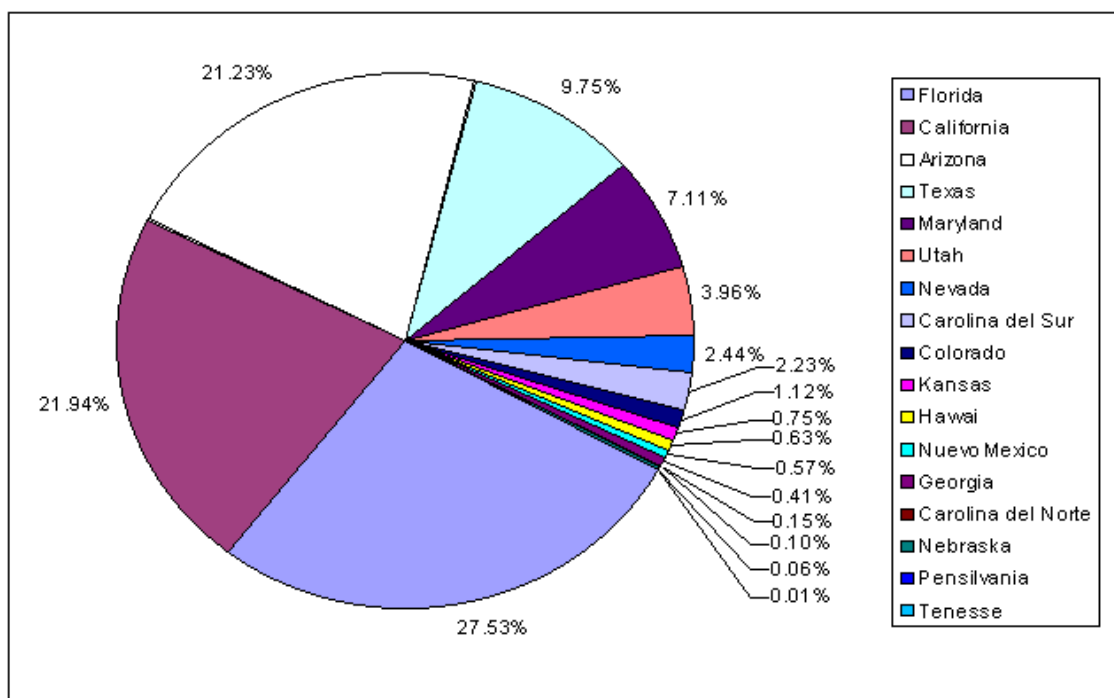


Figura 2. 8 Distribución de la reutilización de aguas regeneradas en los EE.UU. (USGS, 1995).

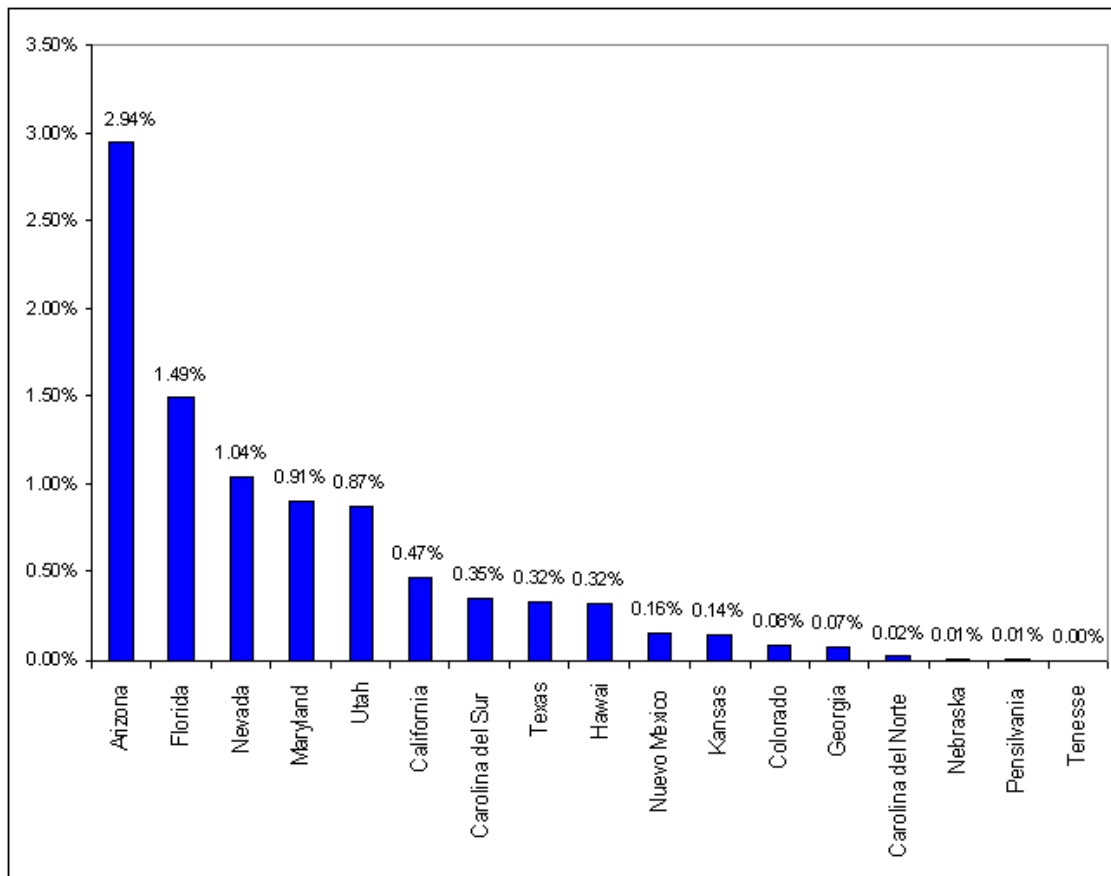


Figura 2. 9 Porcentaje de aguas regeneradas reutilizadas con respecto al volumen total de aguas extraídas (A partir de información del USGS, 1995).

La tabla 2.5 resume la evolución que ha seguido la regeneración y reutilización de las aguas residuales en los EE.UU. desde 1912 hasta la fecha. Actualmente la tendencia de sus investigaciones en este campo se centra en lo relacionado con los usos del agua regenerada y la salud pública, particularmente con las repercusiones de algunos constituyentes del agua regenerada como lo son: 1) virus entéricos y otros patógenos, 2) sustancias orgánicas procedentes del vertido de industrias químicas y farmacéuticas, 3) los residuos órgano-sintéticos no biodegradables producto de la limpieza de las casas, y 4) sales y metales pesados (Asano, 2002).

Algunos de los SRRAR más significativos se describen a continuación:

Monterey, California. La agencia regional para el control de la contaminación del agua en Monterey (MRWPCA, por sus siglas en inglés), construyó un SRRAR para regenerar hasta 20 Mm³/año del agua residual de la ciudad de Monterey y las ciudades colindantes. El agua regenerada es reutilizada para irrigar 5,000 hectáreas de hortalizas del valle de la región. Con anterioridad a la implantación del sistema, el uso excesivo del acuífero local provocó la intrusión de agua de mar, originando que los agricultores de la zona se enfrentaran a serios

problemas de salinidad en el agua extraída del acuífero, que provocaba el deterioro de sus cosechas (MRWPCA, 2003).

Tabla 2. 5
Ejemplos del desarrollo histórico de la reutilización de agua en los EE.UU. (Asano, 2001).

Año	Lugar	Ejemplo de la reutilización del agua
1912 - 1985	Parque de Golden Gate, San Francisco, California.	Riego de céspedes y abastecimiento de los lagos ornamentales del parque
1926	Parque Nacional del Gran Cañón, Arizona.	En el suministro de agua a los retretes, riego por aspersión de las áreas verdes, agua de enfriamiento y agua para calderas.
1929	Ciudad de Pomona, California.	Riego de céspedes y jardines.
1942	Ciudad de Baltimore, Maryland.	Reutilización industrial para el enfriamiento de metales en la empresa Acero Bethlehem.
1960	Ciudad de Colorado Springs, Colorado.	Riego de áreas verdes en campos de golf, parques, cementerios y carreteras
1961	Distrito de Agua del rancho Irvine, California.	Irrigación, usos industriales y domésticos, posteriormente se incluyeron el suministro de agua para los retretes en edificios
1962	Distrito sanitario del condado de Los Angeles, California.	Recarga de acuíferos por cuencas de infiltración en el Montebello Forebay
1976	Distrito de agua del condado de Orange, California.	Recarga de acuíferos por inyección directa
1977	Ciudad de San Petersburg, Florida.	Riego de parques, jardines escolares y residenciales, campos de golf y en sistemas de aire acondicionado.
1985	Agencia Regional para el Control de la contaminación del Agua de Monterey, California.	Realización del estudio para la reutilización de agua regenerada en agricultura en Monterey. Esta reutilización contempla el riego de cultivos que se consumen en crudo, incluidos alcachofa, apio, brócoli, lechuga, coliflor.
2003	Departamento de Recursos Hídricos de California.	Grupo de trabajo "Recycled Water Task Force", cuyo objetivo es el de identificar las limitaciones, los impedimentos, y las oportunidades para aumentar el uso de agua regenerada en California.

St Petersburg, La Florida. En esta ciudad funciona desde 1977 un SRRAR para usos público-urbanos. La reutilización del agua suministra aproximadamente a 10,000 usuarios incluyendo 9,300 usuarios residenciales. Las aplicaciones incluyen la sustitución del agua potable por agua regenerada en usos público-urbano como el riego de jardines, como fuente de reserva para la extinción de incendios, aplicaciones industriales donde el agua regenerada se reutiliza como agua de enfriamiento de los equipos de aire acondicionado. El SRRAR provee un promedio aproximado de 80,000 m³/día de agua regenerada. La cantidad utilizada depende de condiciones climatológicas; por ejemplo en 1993, que fue considerado un año sumamente seco, se suministraron más que 100,000 m³/día del agua regenerada. El caudal no reutilizado en usos público-urbanos, aproximadamente unos 70,000 m³/día es utilizado para recargar el acuífero con el fin de evitar la intrusión salina del agua de mar (Department of Environmental Protection of Florida, 2003).

Rancho de Irvine, California. El distrito del agua del rancho de Irvine (IRWD) implantó desde 1977 un SRRAR, el cual contempló un sistema de distribución dual. El agua regenerada se reutiliza para el riego de parques y jardines residenciales (2,000 hectáreas), el riego de cultivos alimenticios (400 hectáreas), en el suministro para lagos ornamentales, en el abastecimiento de empresas para el lavado de coches y en usos industriales. IRWD ha establecido, en los nuevos edificios de oficinas de la ciudad, el uso de agua regenerada para ser reutilizada en el suministro de retretes. El sistema de conducción dual de IRWD suministra 57,000 m³/día a los

1,750 clientes, entregando más de 15 millones de m³ del agua regenerada al año (IRWD, 2003).

Santa Clara, California. Las autoridades de la ciudad de San José y del condado de Santa Clara decidieron suspender el vertido de aguas residuales, aproximadamente 450,000 m³/día, a los estuarios de la bahía sur de San Francisco para reducir el daño ambiental por el cambio en la salinidad del ecosistema. Antes de la construcción de un emisario submarino, se ha construido en el condado de Santa Clara al sur de la bahía de San Francisco un SRRAR para suministrar agua regenerada a los usuarios urbanos, industriales y agrícolas. En 1998 se puso en marcha la primera etapa del proyecto con una producción de agua regenerada de 60,000 m³/día (South Bay Water Recycling, 2003).

Central eléctrica De Palo Verde, Arizona. El agua regenerada de la ciudad de Phoenix es reutilizada para resolver las demandas de agua para el enfriamiento de la central eléctrica de Palo Verde, localizada a 55 Km al oeste de Phoenix, en el desierto de Sonora. Esta zona presenta una precipitación media de 175 mm/año por lo que la disponibilidad de agua es escasa. La central eléctrica tiene una capacidad instalada de producción de 3,810 megavatios. El SRRAR tiene una capacidad aproximada de 250,000 m³/día para ser utilizados en el sistema de enfriamiento (Agua Fria Linear Recharge Project, 2003).

Refinería de Petróleo de Chevron, California. El SRRAR de Richmond fue el primer proyecto importante del distrito municipal de aguas de la bahía este de California (EBMUD's) para la regeneración y reutilización de aguas residuales en usos industriales. Actualmente el sistema tiene una capacidad de diseño de 20,450 m³/día, colocando a este SRRAR como uno de los proyectos de reutilización industrial de mayor envergadura de los EE.UU. La refinería de petróleo Chevron reutiliza el 63% (unos 12,870 m³/día) en sus torres de enfriamiento (EBMUD, 2003).

Los Ángeles, California. Desde 1962, el distrito de saneamiento del condado de Los Ángeles ha estado reutilizando el agua regenerada para recargar el acuífero que abastece de agua potable a la ciudad, mediante la recarga indirecta por diseminación en la superficie. El agua regenerada era inicialmente el efluente secundario desinfectado; a partir de 1978 se aumentó la línea de tratamiento mediante la adición de unidades de filtración. La cantidad de agua regenerada que se infiltra al acuífero representa en promedio el 16% del volumen que anualmente se recarga en la cuenca. Después de la obtención y análisis de la calidad de las aguas subterráneas, un comité científico independiente del estado de California, concluyó que la recarga con agua regenerada del acuífero de Whittier Narrows era tan seguro como el abastecimiento con agua superficial (LACSD, 2003).

Condado de Orange, California. Desde 1976, el condado de Orange en California tiene en funcionamiento el SRRAR conocido como “Water Factory 21”. Este sistema regenera 57,000 m³/día, produciendo un agua regenerada con el estándar de calidad del agua potable, la cual es inyectada bajo presión al acuífero usado para el suministro de agua potable con el fin de prevenir la intrusión de agua salada. Después de más de 15 años de controles en la calidad del agua del acuífero, el condado Orange no ha observado ningún cambio en la calidad del agua subterránea que ponga en riesgo la salud pública. El sistema se está ampliando actualmente e incorpora un proceso dual de membranas, la capacidad instalada una vez realizada la ampliación será de 200,000 m³/día (OCWD, 2003).

Las actuaciones desempeñadas actualmente por el Estado de California sobre las prácticas de la regeneración y reutilización de aguas residuales, presentan un modelo de gestión más participativo, donde se ha logrado involucrar a las diferentes partes, es decir, usuarios, técnicos, especialistas sanitarios, economistas, académicos y a la sociedad. El Gobierno de California (asamblea de legisladores y poder ejecutivo) aprobaron la creación de un grupo multidisciplinario denominado “Recycled Water Task Force”, cuyo objetivo es el de identificar las limitaciones, los impedimentos y las oportunidades para aumentar el uso de agua regenerada (Katz et al, 2003).

Este grupo está conformado por representantes del gobierno federal, estatal, agencias locales, entidades privadas, organizaciones ambientales, universidades, con aproximadamente 40 miembros. El grupo incluye a expertos técnicos en la regeneración y reutilización de aguas residuales, especialistas en salud pública, investigadores de reconocido prestigio internacional, así como organizaciones ambientales y la comunidad. Este grupo de trabajo ha identificado y propuesto 26 programas con sus respectivas recomendaciones para lograr aumentar la regeneración y reutilización de las aguas residuales en California. Estas recomendaciones tienen que ver con 6 aspectos: 1) técnicos y de salud pública, 2) planeación y distribución de agua, 3) información pública y educación, 4) regulaciones y permisos, 5) la financiación y 6) los aspectos económicos.

2.4.1.2 México

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) en su evaluación de los servicios de agua potable y saneamiento, América Latina y el Caribe cuentan con aproximadamente 479 millones de habitantes, de los cuales 130 millones (27%) aproximadamente carecen de conexiones domiciliarias de agua potable, 255 millones (53%) carecen de conexiones al alcantarillado sanitario y solamente alrededor de 86 millones (18%) están conectados a sistemas de saneamiento en buen estado (OPS, 2001).

Se estima que en América latina se vierten anualmente más de 100 millones de metros cúbicos de aguas residuales domésticas a los cauces receptores. Alrededor de 400 m³/s de aguas residuales sin tratamiento se vierten a los ríos y lagos, para posteriormente ser reutilizadas para el riego de 500,000 hectáreas aproximadamente (México 350,000, Chile 16,000, Perú 5,500 y Argentina 3,700) (Peasey et al, 2000). A continuación se hace un análisis de la situación de la regeneración y reutilización en México.

México está lleno de contrastes, siendo un país con una riqueza en recursos naturales extraordinaria presenta una grave y enorme desigualdad en la distribución de la riqueza económica. Tiene una población aproximada de 97 millones de habitantes (INEGI, 2003), 71% de los cuales se concentran en centros urbanos, ubicados sobre el 2% del territorio nacional (por ejemplo, la densidad demográfica del distrito federal es de 5,660 personas/km²). El resto de la población vive en pequeñas comunidades rurales (15 personas/km²). Estas situaciones provocan la existencia de varios Méxicos; el urbano, que en algunos casos esta altamente desarrollado y goza de todos los adelantos tecnológicos y el rural, donde ni siquiera las necesidades básicas han sido satisfechas.

El país cuenta con un volumen promedio anual de 5,125 m³ de agua por habitante, cifra que lo ubica como un país sin problemas de agua; sin embargo, al efectuar el balance regional aparecen zonas con marcados déficit. La tabla 2.6 contiene los datos de la extracción bruta para los diversos usos. Se observa que la agricultura y la industria tienen la demanda suficiente para absorber el agua regenerada que generan los vertidos municipales.

Tabla 2. 6
Extracción bruta del agua para los diferentes usos en México en el año 2001 (CNA, 2003).

Uso	Origen		Volumen Total (km ³)	Porcentaje de extracción
	Superficial (km ³)	Subterráneo (km ³)		
Agropecuario	36.8	19.6	56.4	78%
Abastecimiento público	3.3	6.2	9.5	13%
Industria autoabastecida	5.0	1.6	6.6	9%
Total	45.1	27.4	72.5	100%

El empleo de acuíferos representa el 38% de la extracción total y es importante mencionar que el sector que más la emplea es el riego (72% de agua subterránea). Normalmente, este tipo de agua es considerado de calidad muy alta, y se prefiere preservar para el consumo humano. Aquí surge un cuestionamiento en relación con el uso de agua de muy buena calidad para riego con eficiencias tan bajas (del orden del 50%), pudiendo ésta ser sustituida en algunas zonas por aguas regeneradas. En esta sustitución no sólo se obtiene el beneficio del agua, sino que además, resulta útil para los cultivos el empleo de aguas regeneradas de origen domésticos al aportarles materia orgánica, nitrógeno y fósforo. A pesar del agua consumida en el riego mediante fuentes de abastecimiento convencionales, la irrigación con aguas residuales es extensa en México; hay cerca de 40 distritos de riego que utilizan aguas residuales, con los

cuales son irrigadas aproximadamente 280,000 hectáreas (CNA, 2002a). Es importante destacar que la normativa mexicana permite el riego de cultivos de tallo alto con aguas residuales (criterio establecido por la OMS) al cual se denomina “riego de cultivos restringidos”; los responsables de los distritos de riego vigilan que estas prácticas de irrigación con aguas residuales sin tratamiento, cumplan con solo irrigar aquellos cultivos de tallo alto, como por ejemplo, el maíz, el trigo o la cebada.

Se estima que en México se producen 200 m³/s de aguas residuales urbanas de las cuales se tratan actualmente antes del vertido el 23%. La infraestructura de tratamiento a escala nacional corresponde a 1,018 EDAR's. De estas solamente funcionan 793 produciendo un caudal de 45.9 m³/s de aguas regeneradas susceptible de ser reutilizado. Los procesos de tratamiento para los efluentes municipales son diversos, aunque predominan las lagunas de estabilización y los sistemas de fangos activos (CNA, 2002b).

Con este escenario es posible comprender cómo en México pueden coexistir SRRAR que son comparables con la vanguardia mundial y, al mismo tiempo, presentar rezagos considerables en las coberturas de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Ciudad de México. La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) con una población de 16.8 millones de habitantes (1.6 millones más de los residentes registrados en 1990) en 1995, se ubicó como la segunda ciudad más poblada del mundo, siendo superada sólo por Tokio Japón (INEGI, 2003). La Ciudad requiere de aproximadamente 35 metros cúbicos de agua por segundo para cubrir las demandas de agua potable. En la tabla 2.7 se presentan las diferentes fuentes de abastecimiento que suministran agua a la Ciudad de México; el 50% del suministro procede de fuentes subterráneas basadas en manantiales y pozos profundos ubicados en puntos estratégicos de la ciudad, los cuales alcanzan ya una profundidad de hasta 450 metros, mientras que el otro 50% es trasvasado de las cuencas vecinas. Una vez utilizadas, las aguas residuales son vertidas al sistema de alcantarillado unitario conformado por 2,033 kilómetros de red primaria y 10,237 kilómetros de red secundaria. El 90% de las aguas residuales municipales de la ZMVM permanece sin tratamiento y se envía al exterior de la Cuenca del Valle de México a través del sistema general de drenaje (Pérez, 2003).

Tabla 2. 7
Fuentes de suministro para la Ciudad de México (DGCOH, 2003).

Fuente	Porcentaje	Caudal suministrado (m ³ /s)
Pozos del Valle de México (fuentes Propias)	50%	17.48
Pozos del Valle de México (Fuente Gerencia de Aguas del Valle de México)	8%	2.82
Manantiales	3%	1.0
Sistema Lerma	12%	4.3
Sistema Cutzamala	27%	9.6
Total	100%	35.2

Las aguas residuales sin tratar se utilizan para irrigar 90,000 hectáreas de cultivos en el Valle del Mezquital, en el Estado de Hidalgo. La esorrentía que regresa de la irrigación se drena hacia ríos afluentes del río Pánuco, el cual desemboca en el Golfo de México.

Aproximadamente el 10% de las aguas residuales de la ZMVM son regeneradas y se reutilizan a escala local en distintos proyectos, tales como la recarga de agua subterránea y la irrigación del paisaje urbano en la ciudad (Jiménez et al., 2001). El uso de agua residual para riego agrícola tiene sus orígenes en la construcción de una salida para las aguas residuales del Valle de México. En el año 1890 se comenzaron a aprovechar estas aguas en la región del Valle del Mezquital en Tula, Hidalgo, para el riego por anegación de cereales, hortalizas y alfalfa. Posteriormente, esta región se estableció como el Distrito de Riego 03, ampliándose en la actualidad al Valle de Alfajayucan en el Distrito de Riego 100, también en Hidalgo. (Arango, 1990)

La Ciudad de México genera 22 m³/s de aguas residuales de los cuales 15 provienen del uso doméstico, 3.5 del sector industrial y 3.5 de los sectores de servicios y comercios. Hay actualmente 24 plantas de tratamiento, 20 con tratamiento secundario y 4 con tratamiento terciario, la capacidad instalada es de 6.8 m³/s, sin embargo, actualmente solo se producen 3.0 m³/s de aguas regeneradas (la capacidad instalada de los sistemas de regeneración de la ciudad de México corresponde al 31% de las aguas residuales que se producen en la ciudad).

El tratamiento secundario de todas estas plantas se realiza mediante líneas de tratamiento formadas por procesos de sedimentación primaria y tratamiento biológico de fangos activos. Los tratamientos terciarios están conformados por los procesos de coagulación-floculación, sedimentación, filtración con arena y desinfección. La tabla 2.8 presenta la descripción de los sistemas de regeneración de la ciudad de México (DGCOH, 2003).

La infraestructura que se utiliza para suministrar a los usuarios el agua regenerada se ha desarrollado siguiendo la tendencia natural que la propia demanda ha establecido. La red de distribución tiene una longitud total de 838 Km; esta red de distribución no está integrada, en realidad son subsistemas aislados que surgieron y se extendieron en la zona de influencia de los SRRAR. Además de esta red se cuenta con 37 tomas llamadas "garzas", donde se surten camiones cisterna. La tabla 2.9 describe las características de la infraestructura para la regeneración y reutilización de las aguas residuales de la ciudad de México.

La reutilización de las aguas regeneradas se realiza principalmente en el riego de parques, jardines, carreteras y el llenado de los lagos recreativos como el de Chapultepec, Aragón y los canales de Xochimilco, así como en algunos procesos industriales de enfriamiento y de limpieza, lavado de automóviles, autobuses de transporte público, los trenes del Metro y la recarga artificial de los mantos acuíferos. Los porcentajes son los siguientes (Pérez, 2003):

67% riego de áreas verdes, 16% recarga artificial del acuífero, 10% sector industrial, 5% riego agrícola y 2% sector comercial (aquí se incluye el lavado de los vehículos de transporte).

Tabla 2. 8

Sistemas de regeneración de las aguas residuales de la Ciudad de México (DGCOH, 2003).

Nombre	Capacidad en l/s		Reutilización	Inicio de operación
	Instalada	Operación		
Chapultepec	160	91.9	Ambiental (lago de Chapultepec) y riego de áreas verdes.	1956
Coyoacán	800	203.59	Ambiental (canales de Xochimilco) y riego de áreas verdes.	1958
Ciudad deportiva	230	148.81	Riego de áreas verdes.	1959
San Juan de Aragón	500	237.81	Ambiental (lago de Aragón) y riego de áreas verdes.	1964
Tlatelolco	22	17.75	Riego de áreas verdes.	1965
Cerro de la Estrella	4000	1,853.1	Riego Agrícola, Ambiental (lago y canales de Xochimilco), riego de áreas verdes, industrial y recarga de acuífero.	1971
Iztacalco	13	10.25	Riego de áreas verdes, Ambiental (lago).	1971
Bosque de las Lomas	55	17.13	Riego de áreas verdes.	1973
Acueducto de Guadalupe	87	76.34	Riego de áreas verdes e Industrial	1975
H. Colegio Militar	30	N.D.	Ambiental (canales de Xochimilco) y riego de áreas verdes.	1981
El Rosario	25	16.16	Ambiental (lago Tezozomoc) y el riego de áreas verdes.	1981
Reclusorio Sur	30	18.6	Ambiental (canales de Xochimilco) y riego de áreas verdes.	1981
San Luis Tlaxiátemalco	150	98.91	Ambiental (canales de Xochimilco).	1989
Abasolo	15	6.88	Ambiental (cacaues de la zona sur – oriente) y agrícola.	1993
Parres	7.5	1.6	Ambiental (cauces de la zona oriente), uso agrícola e industrial.	N.D.
Tetelco	15	N.D.	Ambiental (cauces de la zona oriente)	1994
San Miguel Xicalco	7.5	3.94	Ambiental (cauces de la zona oriente)	1994
La Lupita	15	N.D.	Ambiental (río Ameca) y uso agrícola.	1994
PEMEX	13	9.10	Riego de las áreas verdes.	1994
Campo Militar No 1	30	25	Riego de áreas verdes.	1994
San Andrés Mixquic	30	30	Riego Agrícola.	1997
San Pedro Atocpan	60	35	Riego Agrícola.	1997
Santa Fe	280	N.D.	Riego de áreas verdes y recarga de acuíferos.	N.D.
San Lorenzo	225	N.D.	Riego Agrícola y áreas verdes.	N.D.
TOTAL	6,800	2,902		

N.D.- No Definido

Tabla 2. 9

Infraestructura para la regeneración y reutilización de las aguas residuales de la Ciudad de México (DGCOH, 2003).

Cantidad	Descripción
24	Plantas de Tratamiento
838	Kilómetros de red de distribución.
18	Tanques de almacenamiento con capacidad conjunta de 41,600 metros cúbicos.
22	Plantas de bombeo de agua residual con capacidad conjunta de 2,800 l/s.

Reutilización Industrial. México cuenta con varios ejemplos de reutilización industrial de aguas regeneradas de origen urbano. La tabla 2.10 presenta algunos de los casos más exitosos de regeneración de aguas residuales urbanas para su posterior reutilización en la industria.

La reutilización en Monterrey data de 1955 y fue la primera experiencia de este tipo en el país. La empresa Agua Industrial de Monterrey explota un SRRAR que produce 200 l/s y distribuye el agua a varias industrias. En el estado de México la planta de San Juan Ixhuatepec, S.A. abastece a los socios industriales con 150 l/s de agua regenerada que capta del Río de Los Remedios. La termoeléctrica de Tula cuenta con un SRRAR que produce de 850 a 1300 l/s de agua regenerada, para emplearla en enfriamiento, a partir de las aguas residuales de la ciudad de México que fluyen por el Gran Canal.

Tabla 2. 10
Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales Urbanas para usos industriales (CNA, 2002a).

Nombre del SRRAR	Suministro de agua residual	Caudal m ³ /s		Nivel de tratamiento	Usos del agua regenerada	Precio venta o Recuperación (pesos/m ³)
		diseño	explotación			
Aguas Inds. de Monterrey	Colector combinado	0.3	0.2	Secundario	Industria siderurgia, papelería y manufactura	\$4.20
Sn Juan Ixhuatepec	Río de los Remedios	0.15	0.05	Secundario	Industria química, manufactura y metal-mecánica	\$7.00
Lechería	Emisor Poniente	0.4	0.15	Terciario	Energía, sector textil y de manufactura	\$10.27
Vallejo	Unidad Habitacional Acueducto Guadalupe	0.1	0.085	Secundario	Industria papelería, textil y riego áreas verdes	\$26.23
Crisoba	Gran Canal	0.2	0.2	Terciario	Industria papelería	\$5.00
Termoeléctrica de Tula	Gran Canal	1.3	0.85	Terciario	Enfriamiento	N.D.
PEMEX Salamanca	Descargas al río Lerma	0.75	0.25	Terciario	Enfriamiento	N.D.

2.4.2 Europa.

El parlamento Europeo y el Consejo de la Unión europea consideran que el agua no es un bien comercial como los demás, si no un patrimonio que hay proteger, defender y tratar como tal. La Directiva 2000/60/CE establece un marco de actuación en el ámbito de la política de aguas. El objetivo de esta directiva es establecer un marco para la protección de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas.

Los objetivos ambientales descritos en el artículo 4 de esta directiva, establecen que los Estados miembros habrán de proteger, mejorar y restaurar todas las masas de agua superficial y subterránea. Se establecen una serie de “medidas básicas” y “medidas complementarias” dentro de las que destaca la eficacia y la reutilización, el fomento de tecnologías de eficiencia hidráulica en la industria y de técnicas de riego economizadoras de agua, así como una serie de “estrategias para combatir la contaminación de las aguas”. La Agencia Europea para el Medio Ambiente (AEMA, 2003) reconoce que durante los últimos 17 años se ha logrado un avance significativo en materia de saneamiento. Sin embargo, este avance ha sido desigual en

las distintas zonas que conforman la Unión Europea; la figura 2.10 presenta la evolución en estos 17 años.

Así pues, el aumento en la capacidad de depuración es significativo para todos los Estados miembros excepto Suecia, Finlandia y los Países Bajos donde está capacidad ya era alta. El aumento más significativo está en los países meridionales tales como España y Grecia.

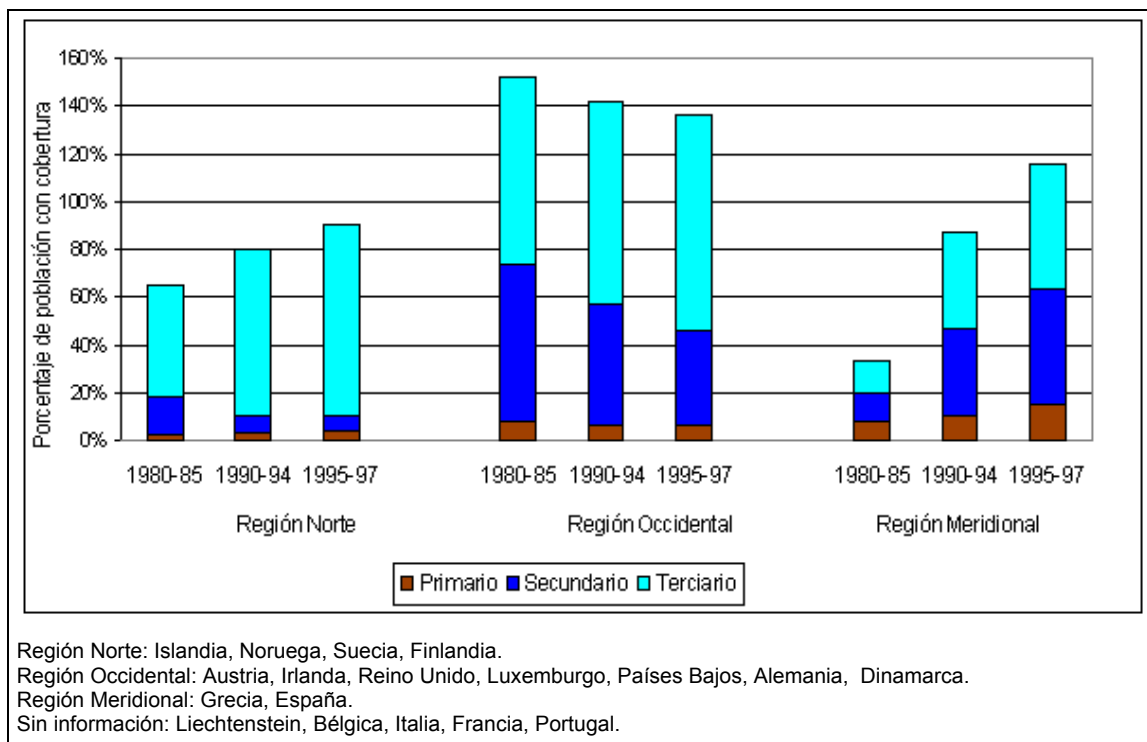


Figura 2. 10 Evolución de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en Europa (AEMA, 2003).

El porcentaje de población con tratamiento terciario ha aumentado desde 1980 en todas las regiones europeas. En Austria y España, durante los últimos 17 años se ha duplicado la proporción de cobertura conectada al alcantarillado y saneamiento de las aguas residuales. Sin embargo, en España solamente alrededor de la mitad de la población trataba sus aguas residuales antes de 1995.

En los años 80 muchos países occidentales, como los Países Bajos y Austria, trataban la mayoría de las aguas residuales mediante sistemas de tratamiento secundario. Mientras que, en países como Finlandia y Suecia el tratamiento de las aguas residuales era hasta un nivel terciario. Al final de la década de los 80 y durante los años 90, muchos de los países occidentales construyeron sistemas de tratamiento para la eliminación de nutrientes.

La región mediterránea es la zona que debido a sus condiciones hidroclimatológicas, necesita incorporar la reutilización del agua dentro del balance de sus recursos hídricos como estrategia

para la próxima década. No obstante, muy pocos países han explotado el valor del agua regenerada hasta la fecha (Marecos do Monte et al., 1996, Angelakis et al., 1997). A continuación se detallan algunos de los proyectos de regeneración y reutilización más significativos de la Unión Europea.

2.4.2.1 Reino Unido.

La reutilización del agua en el Reino Unido no se aplica a una escala similar a la de los países mediterráneos; sin embargo, debido a situaciones de escasez en la isla se han iniciado muchos estudios con la participación de las compañías del agua, la agencia del ambiente, las universidades y las organizaciones de investigación. Un ejemplo es el proyecto de reutilización de las aguas residuales para el mantenimiento del caudal del río Chelmer. Una combinación de circunstancias condujo al condado de Essex, en el sudeste de Inglaterra, a reutilizar las aguas regeneradas en el uso potable-indirecto: 1) los recursos hídricos limitados, 2) las sequías de 1990 y 1996 en una de las regiones más secas de Inglaterra, y 3) un crecimiento demográfico debido principalmente a la proximidad del área metropolitana de Londres (Lazarova et al, 2001).

Las fuentes locales (los ríos Chelmer, Blackwater y Stour) y las importaciones de otros condados, son los recursos utilizados para satisfacer los 410,000 m³/día de agua que el condado de Essex demanda para abastecer a 1.7 millones de habitantes. Se estima que para el año 2025 la demanda será de 480,000 m³/año aproximadamente. Para cubrir la demanda a corto plazo, Essex and Suffolk Water (ESW), con el visto bueno de las Autoridades, desvía 30,000 m³/día de aguas regeneradas del SRRAR de Chelmsford al río Chelmer, que abastece al embalse de Hanningfield, de donde se extrae agua potable (Lewin et al, 2002).

Actualmente el sistema de regeneración consta de un proceso terciario (reducción de nitratos y fosfatos) y desinfección con UV antes de verterse al río Chelmer. En condiciones climáticas normales, las aguas regeneradas se reutilizan entre abril y octubre, aunque, en épocas de sequía, podría extenderse a todo el año. El éxito del proyecto se debe en buena parte a los estudios realizados sobre la calidad de las aguas regeneradas y los posibles efectos a medio y largo plazo sobre la salud de las personas. El proyecto también proporciona información muy importante para comprender la percepción de la población sobre el uso de agua regenerada (Lewin et al, 2002).

2.4.2.2 Malta.

Este país Cuenta con 4 SRRAR, tres en Malta y uno en Gozo, con una capacidad total de 90,000 m³/día para regenerar todas las aguas residuales producidas en el país por el año 2000. La máxima demanda del agua para riego se estima en 60 m³/ha/día (meses de julio y agosto),

por lo que el área potencial para riego con aguas regeneradas es de 1,500 ha si todas las aguas regeneradas se reutilizaran para la irrigación. Se consideró el almacenar el agua regenerada en la época de invierno con el fin de poder aumentar hasta 2,500 has la superficie irrigada, sin embargo, esta solución es financieramente prohibitiva. Así que, la superficie total de riego se estima en 2,000 has, de las cuales 500 has son irrigadas con aguas subterráneas y 1,500 has se riegan con aguas regeneradas (AEMA, 2001).

2.4.2.3 Grecia.

Aún siendo un país típicamente mediterráneo, muchas de las tecnologías que se han implantando en Grecia tienen la influencia tecnológica de los países del norte de la Unión Europea (UE). Como consecuencia de la Directiva Europea de 1991, referente al saneamiento de los vertidos municipales, Grecia experimenta un aumento significativo en su cobertura de saneamiento, a través de varios programas de la UE que han dado soporte financiero para la construcción de las EDAR's. Actualmente el país cuenta con 270 EDAR's de nivel secundario y con las cuales da servicio al 60% de la población (Tsagarakis et al, 2001).

Se estima que el caudal de aguas regeneradas en Grecia es de 1.65 Mm³/día, de los cuales 0.75 Mm³/día (45%) son producidos por la EDAR de la isla de Psitalia, la cual cubre la mayor área metropolitana de Atenas. Sin embargo, no se realiza ninguna reutilización planificada de estas aguas. En 1996, se estimaba llegar a reutilizar del 30 al 60% de las aguas regeneradas en el año 1999, que proporcionaría el agua necesaria para la irrigación de 20,000 a 60,000 ha/año de cultivos en Grecia (Tchobanoglous y Angelakis, 1996).

2.4.2.4 Francia.

Es un país cuyos recursos hídricos son usualmente abundantes y bien distribuidos, este hecho hace que la reutilización planificada de las aguas residuales no sea una prioridad nacional. No obstante, la reutilización de las aguas residuales en el riego es una vieja práctica, cuya justificación tenía que ver con resolver el vertido de las aguas residuales. Actualmente, el sur de Francia experimenta cambios en las condiciones locales. Un aumento en las áreas turísticas, mayor demanda de agua para cubrir los nuevos desarrollos en campos de golf y urbanizaciones con jardines, así como el desarrollo de varias empresas agrícolas, como la del maíz, hacen que esta zona empiece puntualmente a presentar déficit de agua (Bontoux y Courtois, 1996).

Limagne. En esta región los pequeños ríos están en riesgo de secarse debido a las elevadas demandas de agua para el riego agrícola. Para solucionar este problema, se implantó un SRRAR en la ciudad de Clermont-Ferrant, con el cual se reutilizan las aguas regeneradas para

la irrigación de 700 has de maíz, remolacha y alfalfa. Con estas acciones se evita el vertido de aguas residuales a los ríos de la región evitando de esta manera su eutrofización.

El sistema regenera 50,000 m³/día, mientras que el sistema de reutilización planificada para 51 usuarios agrícolas se estima entre los 18,000 a 24,000 m³/día. De esta manera, las demandas para el riego en la zona, quedan totalmente cubiertas con el suministro de agua regenerada, liberándose un volumen de agua que oscila entre los 2.16 y 2.88 millones de m³ durante un año normal. En el caso de un año seco, el ahorro de agua puede llegar a ser de entre 3.24 y 4.32 millones de m³. Se realiza un estricto control sobre la calidad del agua reutilizada, debido al riesgo potencial para la salud de los trabajadores que tienen contacto con el agua regenerada durante el riego. El proyecto fue financiado entre el gobierno, los agricultores y las agencias del agua, siendo el coste de inversión de 4.7 millones de € aproximadamente (AEMA, 2001).

La Isla de Noirmoutier. La demanda agrícola de la zona, 350,000 m³/año, es cubierta al 100% con aguas regeneradas. De esta manera, la reutilización de las aguas regeneradas no solo incrementa la disponibilidad de agua, sino que también previene la contaminación de las zonas costeras, al lograrse “el vertido cero”. La evaluación técnico-económica demostró que la reutilización del agua residual en el riego agrícola y de jardinería es la solución más atractiva y económica para solucionar la escasez de agua y mejorar la calidad ambiental de la isla. La reutilización potable-indirecta y la desalación por sus altos costes se consideran como alternativas a largo plazo (Xu et al, 2001 y Lazarova et al, 2001).

2.4.2.5 Italia.

La reutilización del agua regenerada en Italia está básicamente enfocada a usos agrícolas; sin embargo, existen algunos sistemas para la reutilización de aguas regeneradas en la industria y en el riego de jardines. En los últimos años se ha incrementado la reutilización en las zonas áridas y semiáridas del sur de Italia, mientras que en el norte (Emilia Romagna, Valle d'Aosta y Veneto) la reutilización se ha realizado para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores. Algunos de los SRRAR más importantes de Italia son (Barbagallo et al, 2001):

St. Cristophe-Aosta-Quart. Este SRRAR atiende una población de 148,000 habitantes, produciendo un caudal de 32,600 m³/día de agua regenerada, la cual es reutilizada en el riego de jardines y en la protección contra incendios.

Emilia Romagna. En la zona costera. Se ha implantado un SRRAR cuyos objetivos son la reutilización agrícola y el cuidado del medio ambiente, este sistema produce 450,000 m³/día de agua regenerada que se destina para el riego de 400 ha de huertos, evitando la posible eutrofización de la masa de agua por el vertido de las aguas regeneradas.

Toscana. En esta región existen dos importantes SRRAR para cubrir las demandas de agua en la industria. El SRRAR de Piombino produce 10,000 m³/día de agua regenerada que son reutilizados en el enfriamiento de una industria del acero, mientras que, en Prato se reutilizan aproximadamente 3.9 Mm³/año procedentes del SRRAR del municipio, para cubrir las demandas del distrito industrial textil; la reutilización de las aguas regeneradas es para satisfacer las demandas de agua en el proceso de producción.

Cagliari. En la región de la Cerdeña. Es una zona que ha experimentado en los últimos años serios problemas por la falta de agua, sobre todo después de la sequía de 1990 a 1995, año en el que el gobierno italiano declaró la emergencia por sequía e inició un programa para solucionar el problema. Dentro de las acciones emprendidas se implantó un SRRAR para regenerar las aguas residuales de Cagliari y sus suburbios. La capacidad instalada del sistema es de 165,000 m³/día e incluye el almacenamiento en pequeños embalses para disponer del agua regenerada cuando ésta sea demandada por el ciclo agrícola.

Sicilia. En esta región es muy común la reutilización de las aguas regeneradas sin ninguna planificación. Desde hace varios años el agua regenerada de la pequeña ciudad de Grammichele produce 1,500 m³/día que reutiliza para la irrigación de huertas de cítricos. Varios municipios cercanos a Grammichele, como Caltagirone, Mineo, S. Michele y di Ganzaria, tienen planes para la reutilización de aguas regeneradas municipales en usos agrícolas. Recientemente el gobierno de Sicilia ha autorizado y financiado, con el soporte de la Unión Europea, el proyecto de reutilización de las aguas residuales de Palermo, que produce 280,000 m³/día de agua regenerada, y el de la ciudad de Gela, que cuenta con dos SRRAR que abastecen un depósito cuya capacidad es de 5 millones de m³. Con todos estos casos el gobierno siciliano pretende irrigar varios miles de hectáreas agrícolas.

2.4.2.6 España

El trabajo realizado por Olcina (2002), recoge un análisis de la gestión de los recursos hídricos en España, y en particular los recursos no convencionales, el autor realiza un profundo y minucioso análisis de las condiciones que actualmente existen en España sobre la regeneración y reutilización de las aguas residuales.

Este autor considera que el consumo efectivo de agua en España es de 20,783 Hm³/año de los cuales 14,559 Hm³/año retornan a los cauces receptores. Por otra parte se depuran 2,500 Hm³/año de los cuales se reutilizan planificadamente 230 Hm³/año.

La figura 2.11 presenta la ubicación los municipios donde se llevan a cabo acciones de regeneración y reutilización planificada de las aguas. Existen en la actualidad identificadas más de 100 actuaciones de reutilización directa. La reutilización agrícola es el aprovechamiento más

extendido (89% del volumen total, frente al 6% de usos recreativos y campos de golf, 2% de usos municipales, 2% para requerimientos ambientales y 1% de usos industriales). Las instalaciones están ubicadas, sobre todo, en las islas y zonas costeras mediterráneas con escasez de recursos hídricos; fundamentalmente las confederaciones hidrológicas del Júcar y el Segura, tal y como muestra la figura 2.12. Estas zonas son, además, las que parecen presentar mayores potencialidades para su desarrollo futuro (MMA, 2000).

La tabla 2.11 describe las principales acciones que en materia de regeneración y reutilización de las aguas residuales se efectúan en España, una mención especial merece la regeneración y reutilización de las aguas residuales de la ciudad de Vitoria.

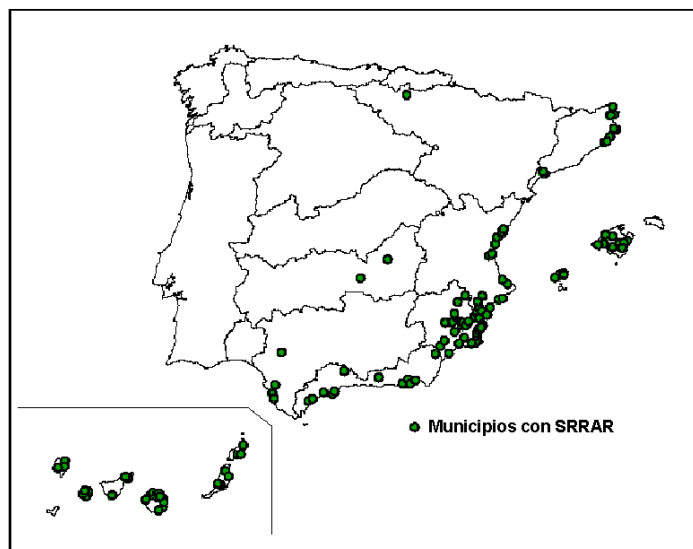


Figura 2. 11 Municipios con instalaciones de regeneración y reutilización planificada de las aguas residuales (MMA, 2000).

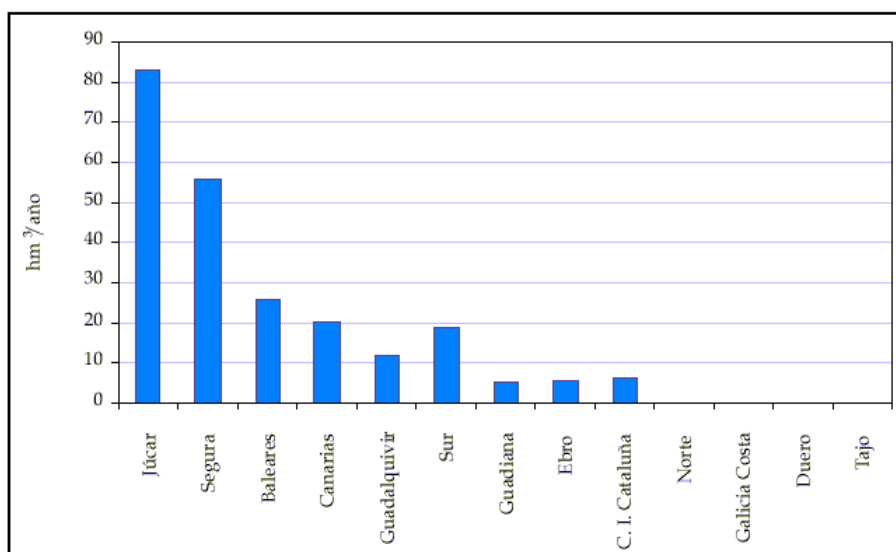


Figura 2. 12 Volúmenes de reutilización directa en cada confederación hidrográfica (MMA, 2000).

Tabla 2. 11
Actuaciones destacadas de reutilización de las aguas regeneradas en España (Olcina, 2002).

Lugar	Descripción
Vitoria-Gasteiz	- Plan de recuperación y reutilización integral de las aguas residuales (EDAR Crispijana) por las comunidades de regantes de Arrato (12.4 Hm ³ /año) y Noreste (12.4 Hm ³ /año)
Almería	- Depura 32 Hm ³ , previsto para el 2010, 40 Hm ³ . - Plan de reutilización del Bajo Andarax (15 Hm ³ /año). Riego de 3,281 ha. Aguas depuradas de Almería. - Plan de ordenación del territorio de la comarca de Poniente (9.6 Hm ³ /año), riego de 23,382 ha. 11 estaciones depuradoras (4 sistemas de desalación)
Tenerife	- Plan director para la reutilización de las aguas de Santa Cruz en el valle de San Lorenzo, valle de Güimar y valle Guerra. - Se utilizarán 6 Hm ³ /año para el riego de 750 ha. (80% plataneras) - Conducción de 60 km.
Gran Canaria	- Reutilización de 6 Hm ³ /año para uso agrícola a partir de efluentes depurados en la depuradora del sureste.
Madrid	- Riego de los parques de Madrid a partir del empleo de aguas residuales depuradas de la EDAR La China (terciario) - 25,498 m ³ /día (9.3 Hm ³ /año) para el riego de 295 ha.
Costa Brava	- El Consorci de la Costa Brava lleva a cabo actuaciones de reutilización (2,4 Hm ³ /año) en varios frentes: <ul style="list-style-type: none"> o 3 Campos de Golf (0.5 Hm³/año) o Riego de huertas de los alrededores de Platja d'Aro y Lloret de Mar y de la explotación de cavas de Castillo de Perelada. o Restauración de la laguna de Cortalet en el Parque Nacional de Aiguamolls de l'Empordà (0.7 Hm³/año)
Tarragona	- Reutilización de aguas depuradas en el Parque recreativo Port Aventura (6 Hm ³ /año).
Valencia	- Reutilización de aguas para riego agrícola de la EDAR de Pinedo (terciario) <ul style="list-style-type: none"> o 31 Hm³/año para riego de 1,650 ha de l'Horta Sud o 100 Hm³/año para la restauración del Parque de la Albufera de Valencia (previsión)
Alicante	- 66 Hm ³ (régimen de concesión) - Volumen medio reutilizado: 44 Hm ³ /año - Potencialmente reutilizable sin concesión: 54 Hm ³ /año - Entidades beneficiadas: <ul style="list-style-type: none"> o Comunidad de regantes de Alicante (3 Hm³/año) o Comunidad general de regantes ARALVI (7 Hm³/año) o Canal del Bajo Algar (4.6 Hm³/año) o Comunidad general de Usuarios del Alto Vinalopó (0.8 Hm³/año)

El plan de Reutilización Integral de las aguas residuales de la ciudad de Vitoria-Gasteiz persigue la reutilización de 20 Hm³ anuales. Los usos a los cuales se aplica la reutilización son: 1) el riego de 10,000 ha de cultivos sin ninguna restricción (8 Hm³) y 2) la sustitución de caudales ecológicos en los ríos (12 Hm³). Esta reutilización alternativa de caudales, permitirá a Vitoria-Gasteiz resolver sus problemas de abastecimiento de agua pues con estas acciones ha duplicado su disponibilidad, a la vez que podría producirse un incremento de energía eléctrica de 1,200,000 € al año (López et al. 1998).

Otros importantes proyectos en los últimos años son los realizados en Tenerife para destinar las aguas regeneradas en el riego agrícola (Aguiar, 1999), en la Costa Brava (Sala y Serra, 1998), en la Costa del Sol (Marzo, 1998), en Tarragona (Aragonès, 1988), en Andalucía para reutilizar el agua residual municipal (Blancas et al., 1997) y en Málaga para el riego agrícola como en la zona del Campo de Dalías (Iglesias, 1997).

2.4.3 África.

En muchos países de este continente, como Marruecos y Argelia, más de la mitad de las estaciones de tratamiento de aguas residuales no están funcionando correctamente debido a la

carencia de mantenimiento. Esta situación tiene como consecuencia efectos negativos en el medio ambiente y riesgos a la salud pública por la reutilización de estas aguas residuales sin tratamiento en usos agrícolas. Las experiencias se presentan en los países del Norte y Sur de África, coincidiendo con las zonas de menor precipitación. A continuación se presentan los casos de Túnez, Egipto, Zimbabwe, Sudáfrica y Namibia.

2.4.3.1 Túnez.

La mayoría de los habitantes de los grandes centros urbanos en Túnez tienen acceso a un adecuado sistema de saneamiento. La cobertura del alcantarillado urbano es del 78%, vertiéndose 240 Mm³ de aguas residuales al año, de los cuales 140 Mm³ (58%) son regenerados en 61 EDAR's; de éstas, alrededor de 41 tienen una capacidad menor a los 3,500 m³/día y 10 sobrepasan los 10,000 m³/día. Cinco SRRAR están situados en el área de Túnez, produciendo cerca de 62 Mm³/año que corresponde al 44% del efluente regenerado del país. Varios de los SRRAR están situados a lo largo de la costa para prevenir la contaminación del mar. Las aguas residuales municipales son principalmente domésticas, alrededor del 88%, y los SRRAR son básicamente hasta un nivel secundario. Los planes de saneamiento consideran regenerar 290 Mm³ en el año 2020, que será aproximadamente igual al 18% de los recursos disponibles de agua subterránea (Pescod 1992, Bahri 2001).

La práctica de la regeneración y reutilización de las aguas residuales en Túnez, que se realiza desde la década de los 60, está considerada como una parte integral del control de la contaminación, pues se protegen las áreas costeras y cuerpos receptores sensibles, y como fuente potencial de agua y fertilizantes para la agricultura. Se reconocen tres fases evolutivas de la regeneración y reutilización de las aguas residuales en Túnez. Estas fases son (Bahri, 2001):

En una primera etapa el agua regenerada se reutilizó para el riego de fruta cítrica. Ejemplo de ello son los huertos cítricos de Soukra (600 ha). El motivo de la reutilización de las aguas regeneradas era el de reducir el impacto de la intrusión del agua salada debido al bombeo excesivo de las aguas subterráneas.

Como segunda fase en los años 80's, la reutilización de del agua regenerada se implemento para el riego agrícola y paisajístico, proyectos experimentales para la recarga de acuíferos y el desarrollo de humedales. Durante esta fase se regeneran aproximadamente 35 Mm³ al año para ser reutilizados en el riego.

La tercera etapa, se inició en 1997 tiene como finalidad diversificar la reutilización del agua regenerada en otros usos distintos al agrícola, tales como aplicaciones municipales, industriales, y ambientales.

El uso del agua regenerada en Túnez para regar está restringido, por lo que se prohíbe el riego de cultivos que se consumen en crudo. Los principales cultivos regados con agua regenerada son: forrajes (alfalfa, sorgo, bersín, etc.) (45.3%), árboles frutales (frutos cítricos, uvas, aceitunas, melocotones, peras, manzanas, granadas, etc.) (28.5%), cereales (22.4%), y cosechas industriales (remolacha) (3.8%). El 57% del riego con agua regenerada está tecnificado. Se tiene el objetivo de irrigar con agua regenerada entre 20,000 y 30,000 ha., es decir, entre el 7 y 10% de la superficie total de riego del país, de los cuales 14,500 ha corresponden a los alrededores de la capital. Se tiene proyectado un nuevo SRRAR para la ciudad de Túnez "el proyecto de Tunis-West" con una capacidad de diseño en el año 2026 de 224,200 m³/día (82 Mm³/año).

2.4.3.2 Egipto.

En Egipto la producción de aguas residuales se estima en 4,930 Mm³/año. Existen 22 EDAR's y se encuentran en construcción 150 EDAR's. Este país prohíbe el uso del agua regenerada, sin importar su nivel de calidad, para el riego de cultivos que se consumen en crudo; es por este motivo que el agua regenerada se utiliza para el riego de cultivos que no puedan ser contaminados, como por ejemplo la producción de madera. Algunas comunidades en Egipto utilizan las aguas residuales crudas o regeneradas para irrigar los bosques. Con esta producción se cubren los consumos locales de leña y madera. Los SRRAR de El-Gabal, El-Asfar y El-Berka en el Cairo producen aguas regeneradas de nivel terciario que pueden ser reutilizadas con seguridad en el riego de árboles, para la producción de madera, así como para otras plantaciones. Desde 1994 el gobierno egipcio impulsó un programa de replantación de árboles en las áreas urbanas con el riego de aguas regeneradas (FAO, 2002).

2.4.3.3 Zimbabwe.

La ciudad de Harare cuenta con tres SRRAR de filtros biológicos convencionales y cinco SRRAR tipo lagunar, donde se regeneran las aguas residuales de la ciudad. Las aguas regeneradas de los sistemas lagunares son reutilizadas para el riego de parques y jardines. Cada día se destinan 100,000 m³ de agua regenerada para el riego de céspedes y 90,000 m³/día se vierten en los ríos para mantener los caudales ecológicos. Las aguas regeneradas que se vierten en el río para su posterior reutilización, llegan a los embalses antes de la extracción para someterlas nuevamente al tratamiento de potabilización, de tal forma que se realiza una reutilización indirecta en usos potables. Menos del 5% del suministro de la ciudad es agua regenerada. No obstante, la regeneración y reutilización de las aguas residuales es una de las prioridades de la ciudad; por esta razón se están retirando progresivamente los filtros biológicos convencionales y sustituyendo por un tratamiento biológico de eliminación de nutrientes. Los fangos estabilizados se destinan a usos agrícolas (Lewin et al, 2002).

2.4.3.4 República de Sudáfrica.

Sudáfrica es un país relativamente seco con una precipitación promedio anual de 483 mm, comparados con los 735 mm de los EE.UU., o con el promedio mundial que se encuentra en los 860 mm de lluvia. Además debe tenerse en cuenta que en Sudáfrica la precipitación es muy irregular a lo largo de todo el territorio; por ejemplo, en la costa Este la precipitación se encuentra en torno a los 50 mm contra los 2,500 mm de lluvia que se presentan en las montañas de las regiones del Sureste y Suroeste del país. Estas condiciones favorecen el interés por implantar SRRAR (Odendaal, 1991).

Las 33 ciudades más grandes de este país producen en su conjunto 1.23 millones de metros cúbicos al día de aguas residuales, de los cuales se regeneran y reutilizan en la agricultura el 16.1% (198,600 m³/día), en la generación de energía el 8.7% (107,700 m³/día) y en el uso industrial 7.1%. (87,200 m³/día); de estas ciudades destacan por su importancia:

Pretoria. Capital administrativa de Sudáfrica, es la ciudad con mayor población e industrialización del país, produciendo el 50% del Producto Interior Bruto. El SRRAR denominado Complejo Pretoria-Witwatersrand-Vereeniging (PWV-Complex) regenera 641,200 m³/día que corresponde al 52% del volumen producido por las 33 ciudades. La reutilización del agua regenerada se lleva a cabo en usos agrícolas, industriales y para la producción de energía (Odendaal y Van Vuuren, 1991).

Port Elizabeth. El 86% de las viviendas cuentan con conexión al alcantarillado y el agua residual es conducida hasta el SRRAR, estimándose que diariamente se producen 92,880 m³ de aguas regeneradas, cuyo tratamiento es de fangos activados convencionales. Aproximadamente 4,644 m³/día (5%) de las aguas regeneradas se reutilizan con fines industriales y para riego. Se tiene planeado que en el año 2020 este porcentaje llegue hasta el 40%. Aunque actualmente el agua regenerada no se destina al consumo, se estima que para el año 2020 el 30% del agua potable de la ciudad se obtendrá a partir de aguas regeneradas. Es importante destacar que el 97% de los biosólidos producidos por el SRRAR (aproximadamente 15,000 toneladas al año) se utilizan para fabricar ladrillos, mientras que el 3% restante se vierte controladamente (Lewin et al, 2002).

2.4.3.5 Namibia.

Namibia es referente internacional por ser un país pionero en la reutilización directa para el uso potable de las aguas regeneradas. Windhoek, la capital de Namibia, se sitúa en las montañas centrales del país, colindando al Este con el desierto de Kalahari y al Oeste con el desierto de Namib. La fuente superficial más cercana es el río de Kavango a 750 Km de distancia. En 1968, y como resultado de las fuertes sequías, fue construido con una capacidad inicial de

4,800 m³/día el primer SRRAR para usos potables directos del mundo. El SRRAR de Windhoek en Namibia es un caso de estudio desde hace casi 30 años. Originalmente dicho sistema no fue diseñado para la reutilización potable directa, pero las condiciones áridas que imperan en la zona han forzado a realizar modificaciones al diseño original con el fin de producir agua regenerada que pueda servir de suministro de agua potable, siendo económicamente más viable regenerar que transportar agua de fuentes convencionales de lugares más lejanos (Odedaal, 1991).

Este SRRAR ha producido constantemente agua de calidad potable durante los últimos 30 años. El sistema ha sido ampliado en varias ocasiones, contando en la actualidad con una tecnología de doble membrana y una capacidad instalada de 21,000 m³/año. Dependiendo de la situación climatológica, la aportación de agua regenerada al sistema de abastecimiento de la ciudad ha variado desde un 4% hasta un 31% del total suministrado. El agua regenerada se mezcla con agua potable producida por la Estación Potabilizadora de Goreangab antes de la distribución; en épocas de extrema sequía la mezcla máxima es de 1:1. En promedio desde 1968 la proporción de la mezcla ha sido de 1:3.5 (Van der Merwe y Haarhoff, 1996).

Aunque el SRRAR de Windhoek ha demostrado que la reutilización potable directa es factible, el efecto a largo plazo de la reutilización potable directa en la salud humana sigue siendo un interrogante y una preocupación. El efecto de varios productos químicos presentes en el agua regenerada deberá ser evaluado para verificar que no existe riesgo a la salud pública. Otra preocupación importante es la posible presencia de trazas de compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales y que no pueden ser eliminados por las tecnologías actuales. Por estas razones y quizás otras, como por ejemplo la dificultad de la aceptación pública, la reutilización potable directa de las aguas regeneradas municipales debe tomarse con cautela y consecuentemente, se debe considerar como la última opción deseable para solucionar los problemas de suministro para el consumo humano (Odedaal y Hattingh, 1991).

2.4.4 Asia

La reutilización planificada de las aguas regeneradas en este continente se lleva a cabo básicamente en las islas y las zonas áridas y semiáridas, identificándose 4 zonas principales: 1) las islas como Japón y Chipre, 2) la zona central de Asia (parte de China y los países del Cáucaso), 3) los países cercanos al mediterráneo y, 4) los países de la península árabe, Arabia Saudita, Kuwait, Bahrein, Qatar, los Emiratos Árabes Unidos, Omán, y la república de Yemen. Estos países, excepto la república de Yemen, constituyen el Consejo de Cooperación del Golfo (GCC). A continuación se presentan las experiencias de Japón, Chipre, China, Kazajstán, Israel, Jordania, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita.

2.4.4.1 Japón.

Tras la 2ª guerra mundial, Japón realiza grandes inversiones para la reconstrucción de sus redes de alcantarillado y la construcción de sus sistemas de saneamiento de aguas residuales. En 1951 implanta un programa de regeneración y reutilización de aguas residuales con el fin de abastecer a la industria papelera de Tokio. De acuerdo con las estadísticas de 1997, se destinaron aproximadamente 28 billones de dólares para la planificación y construcción de 2,585 sistemas de alcantarillado y SRRAR, lo cual representó aproximadamente el 0.7% del Producto Interior Bruto de Japón (Ogoshi et al, 2001).

En 1997, 163 SRRAR públicos en Japón suministraron agua en 192 zonas. Adicionalmente uno de los mayores logros que Japón ha realizado en la regeneración y reutilización de aguas residuales ha sido la creación de sistemas in-situ, es decir, individualmente en 1,475 edificios se han instalado SRRAR para el suministro de agua en retretes, así como para el riego de jardines. El volumen anual reutilizado es aproximadamente de 206 Mm³. La tabla 2.12 describe la situación actual de los sistemas de regeneración y reutilización de aguas residuales en el Japón.

Tabla 2. 12
Estado actual de la reutilización del agua en Japón (Ogoshi et al, 2001).

Uso	Aplicación	Objetivos y motivación	Número de SRRAR	Volumen anual (x 10 ⁶ m ³)
Público-Urbano	Suministro de agua para retretes	Conservación de agua y reducción de flujos de aguas residuales, permitiendo una capacidad de expansión en áreas densamente pobladas		
		de SRRAR	36	3
		De SRRAR in-situ	1475	71
	Derretido de nieve	Para la limpieza de nieve en calles y carreteras	24	15.3
	Limpieza	Depende, cuando es menos costoso que el suministro de agua de primer uso	49	11.2
Ambiental	Uso ambiental	Para cubrir las necesidades de flujos en los cauces dentro de las zonas urbanas "un uso estético del agua", publicidad del uso de los SRRAR en la protección ambiental.	55	63.9
Industrial	Proceso	Depende, cuando es menos costoso que el suministro de agua de primer uso	6	12.6
	Enfriamiento	Depende, cuando es menos costoso que el suministro de agua de primer uso, protección ambiental	33	8.9
Agrícola	Riego de cultivos	Depende del agua de abastecimiento	16	15.9
	Siembra de árboles	Depende, cuando es menos costoso que el suministro de agua de primer uso	90	0.5
	otros	Por ejemplo, para la eliminación de polvo en la construcción de obras.	47	3.6
Sub-total		SRRAR	192	135
		SRRAR in-situ	1,475	71
		TOTAL	1,667	206

La figura 2.13 representa la distribución de los diferentes usos a los que se destina el agua regenerada. De esta información se destaca que en Japón se reutiliza el 49% del total de sus aguas regeneradas para el uso público-urbano (riego de plantas de ornato, jardines, parques, áreas de golf y en algunas localidades para las evacuaciones en los retretes), un 31% en usos ambientales (aumento de caudal en los ríos), 10% para la reutilización industrial (proceso y

enfriamiento) y solamente un 8% en la reutilización agrícola, presentándose una situación contraria al resto de los países donde la reutilización mayoritaria es el uso agrícola e industrial.

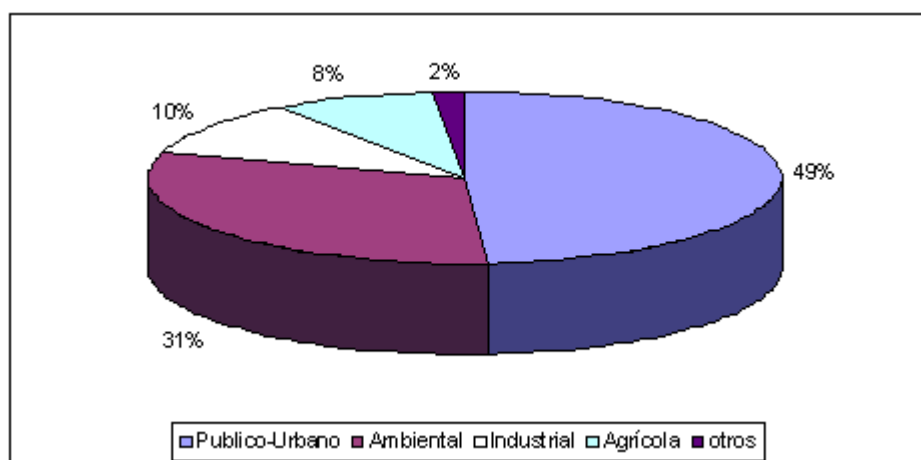


Figura 2. 13 Distribución de la reutilización del agua regenerada en Japón (Ogoshi et al, 2001).

La tabla 2.13 presenta tres ejemplos de los SRRAR de mayor envergadura implantados en el Japón se describen las líneas de tratamiento, la calidad del agua obtenida, la capacidad instalada y las longitudes de conducción, así como el precio de venta. Como se puede apreciar, la reutilización del agua en Japón no es barata; el 80% del precio del agua potable es el criterio generalmente aplicado para establecer el precio del agua regenerada. Los costes de producción del agua regenerada en la ciudad de Fukuoka son de 2.01 USD/m³ superior a los 1.88 USD/m³ que cuesta el agua potable, pero en promedio el precio del agua regenerada es de 2.99 USD/m³, 20% menor que el del agua potable que se sitúa en los 3.73 USD/m³.

Tabla 2. 13
Ejemplos de SRRAR a gran escala en Japón (Ogoshi et al, 2001).

Localidad Año de arranque	Tratamiento	Calidad de agua regenerada, mg/l excepto coliformes UFC/ml	Capacidad de suministro, m ³ /d, y longitud de conducción	Principales reutilizaciones del agua regenerada	Precio del agua regenerada ¹ , \$/m ³
Chiba Prefecture Proyecto del reciclaje de agua en el Nuevo Centro de Makahari. Octubre 1989.	Fangos Activados, coagulación química, filtración, ozonificación y cloración	Coliformes ND. ² , Cloro residual 1.4, DBO 1, DQO 4.8, SS 1, color 5, N-total 15, P-total 0.06	Máxima 4,120 Prom. 2,372 Tuberías de acero 100-300 mm de diámetro. Longitud de la tubería 2.76 Km.	Suministro de agua para retretes, limpieza, usos ambientales y ornamentales	1.75 para usos comerciales, y 0.88 para usos públicos.
Ciudad de Kobe Proyecto del reciclaje de agua en la Isla de Rokko. Abril 1986.	Fangos Activados, filtración, ozonificación y cloración	Coliformes ND., Cloro residual 0.04, DBO 5, DQO 10.1, N-total 31.8, P-total 0.58	Máxima 2,100 Tuberías de PVC y acero 5-300 mm de diámetro. Longitud de la tubería 6 Km.	Suministro de agua para retretes, riego de parques, limpieza,	1.67 para usos comerciales y 1.00 para clientes particulares.
Ciudad de Fukuoka. Proyecto de reciclaje de agua. Junio 1980	Fangos Activados, filtración, ozonificación y cloración	Coliformes ≤ 10, Cloro residual 3.1, DBO 3, DQO 7.1, SS ≤ 2, turbidez 1, color 4, olor ND, pH 7.5, N-total 20, P-total 0.97	Máxima 4,500 Tuberías de Hormigón o resina epóxica 75-300 mm de diámetro. Longitud de la tubería 48 Km.	Suministro de agua para retretes, riego de parques.	2.97 en 1997, y 2.99 en 1998.

(1) Tasa de conversión 120 Yen equivale a 1 dólar, (2) ND = No Detectado.

2.4.4.2 Chipre.

Actualmente se producen al año alrededor de 40 millones de m³ de aguas residuales en toda la isla de Chipre. De este volumen, solamente 16 millones de m³ se están regenerando, principalmente en la provincia de Lefkosa donde se encuentra la ciudad de Nicosia capital de Chipre. Las demandas domésticas e industriales van en aumento y son prioritarias frente al uso agrícola; este hecho ha motivado la reutilización de aproximadamente 11 millones de m³ al año de aguas regeneradas para el riego agrícola, con el fin de liberar volúmenes de agua de fuentes convencionales para cubrir las demandas domésticas e industriales que requieren de un agua de mejor calidad. Lo que ubica al agua regenerada como la principal fuente de suministro para la agricultura en el futuro (AEMA, 2001).

2.4.4.3 China.

Desde los años 80 China ha realizado esfuerzos para regenerar y reutilizar sus aguas residuales. En 1999 China generaba 12,800 Mm³/año de aguas residuales, de este caudal se regeneraban 4,081 Mm³/año (el 31%) en 398 EDAR's; de éstas 272 son sistemas biológicos. Actualmente las aguas regeneradas se reutilizan principalmente en la agricultura, la industria, usos público-urbanos y ornamentales, así como en usos ambientales. Un gran número de ciudades regenera y reutiliza sus aguas residuales. Por ejemplo, las aguas regeneradas de Gaobeidian son la segunda fuente de suministro de la ciudad; el agua es reutilizada en los procesos industriales, para el riego de jardines y para el lavado de calles, lográndose un ahorro de 100 Mm³/año. El SRRAR tiene una capacidad de 470,000 m³/día, la producción actual es de 300,000 m³/día de los cuales 200,000 m³/día son destinados a usos ambientales en el mantenimiento del lago Gaobeidian; además se suministra agua para el enfriamiento de la central eléctrica. Los 100,000 m³/día restantes son sometidos a un tratamiento avanzado y reutilizados en procesos industriales, usos ornamentales y agua para usos urbanos no potables (Yue y Xingcan, 2001).

En el año 2001 se amplió la capacidad de reutilización en usos público-urbanos no potables de las aguas regeneradas de la ciudad de Tianjin. Seis sistemas de reutilización han sido puestos en operación, reutilizando un total de 115,000 m³/día; los sistemas de reutilización son: 1) en el distrito residencial de Meijiang (para retretes y riego de jardines), 2) en el riego agrícola del condado de Jinghai, 3) para el sistema de enfriamiento de la central eléctrica de Chentangzhuang 4) el mantenimiento del caudal ecológico del río del weijinhe, 5). En el parque Chenglin (usos público-urbanos no potables y ornamentales) y 6) para el sistema de lavado de vehículos (Yanbo, 2001).

2.4.4.4 Kazajstán.

En este país se están implementado SRRAR, ejemplo de ello es el proyecto desarrollado por el Instituto de Gestión del Agua de Kazajstán que contempla la reutilización de las aguas regeneradas de la ciudad de Almaty. El agua residual de esta ciudad, 40 Mm³/año aproximadamente que tienen una composición 80% doméstica y 20% industrial, es regenerada mediante un tratamiento biológico. El efluente es conducido hasta el lago de Sorbulak, cuya capacidad es de 1,022 Mm³ y su superficie de 62 km², siendo uno de los mayores de Asia Central. Con el agua almacenada se estima que se pueden regar 45,000 ha de zonas altamente secas. En los últimos años el área cultivada ha disminuido en un 51%; esta tendencia podría cambiarse utilizando las aguas regeneradas para el riego de forrajes (Karajeh et al, 2000).

2.4.4.5 Israel.

En Israel, la normativa permite a partir de 1965 el uso de efluentes procedentes de tratamientos secundarios para el riego de cosechas (con excepción de las que se consumen crudas). (Shelef et al., 1994). La tabla 2.14 resume las diferentes fuentes de suministro disponibles y las demandas por sectores en Israel. En el año 1995 el 35% del agua demandada se empleaba para el suministro de los usos urbanos e industriales, mientras que el 65% restante era utilizado por la agricultura.

Tabla 2. 14
Disponibilidad y demandas de agua por sectores (Friedler, 2001).

Recursos de agua	1995 (x 10 ⁶ m ³)	Demanda de agua	1995 (x 10 ⁶ m ³)
Agua fresca	1,600	Urbano e industrial	700
Agua salobre	180	Irrigación con agua fresca	900
Agua residual	220	Irrigación con agua salubre y residual	400
Total	2,000	Total	2,000

La proyección de la disponibilidad y demandas para el año 2010, que se presenta en la tabla 2.15, contempla el significativo aumento en la reutilización de aguas residuales que será destinado con fines agrícolas. Aumenta también el porcentaje de demandas para usos urbanos e industriales hasta un 44%, mientras que las demandas en el uso agrícola disminuyen un 10%, situándose en el 56%.

La concepción que el gobierno israelí ha tenido para desarrollar el balance hidráulico dentro su Plan de Aguas es muy interesante pues, a diferencia de otros balances hídricos donde sólo se proporciona la información relativa a las cantidades disponibles, el balance de las aguas en Israel es novedoso al conjugar la cantidad disponible con la calidad de las aguas, lo que da una mayor realidad de la disponibilidad que existe dependiendo del uso al que se destine el agua (Shelef y Azov, 1996).

Tabla 2. 15
Proyección de la disponibilidad y demanda por sectores para el año 2010 (Shelef, 1991).

Recursos de agua	(x 10 ⁶ m ³)				Demanda de agua	(x 10 ⁶ m ³)			
	Grado de Calidad *			Total		Grado de Calidad *			Total
	1	2	3			1	2	3	
Agua subterránea	950	160	-	1,110	Municipal y doméstico	770	-	-	770
Agua superficial	700	-	60	660	Industrial	155	40	25	220
Agua residual	-	-	420	420	Agrícola	675	120	455	1250
Total disponible	1,650	160	480	2,290					
Perdidas	- 50	-	-	- 50					
Total suministrado	1,600	160	480	2,240	Total demandado	1,600	160	480	2,240

(*) Grado de calidad: 1 para todos los usos incluido el consumo humano, 2 aguas salobres, 3 calidad solamente para el riego.

La tabla 2.16 presenta algunos ejemplos de SRRAR con diferentes alcances implantados en Israel, de los cuales destacan de manera significativa los proyectos inter-regionales de Haifa y Tel Aviv. El SRRAR de Haifar conlleva la conducción a lo largo de 28 Km desde la depuradora hasta el punto de reutilización en terrenos de cultivo del Valle de Jeezrael.

El SRRAR de Dan es el mayor sistema de regeneración de Israel. Produce diariamente 330,000 m³ de aguas regeneradas a partir de las aguas residuales generadas por ocho aglomeraciones (una población aproximada de 2 millones de personas), incluida la región de Tel Aviv-Jaffa. El agua se regenera mediante un sistema de fangos activos convencionales, un proceso de nitrificación-desnitrificación y la conducción a las cuencas de recarga. El agua regenerada se envía a cuatro zonas de infiltración para recargar capas freáticas de la costa (sistema SAT, Tratamiento Suelo-Acuífero). Mediante este sistema, el agua se filtra lentamente en la arena, favoreciendo así la adsorción, la degradación biológica de nutrientes y los intercambios de iones. En promedio, el agua permanece dos meses en el acuífero; después es extraída por bombeo y conducida por tubería hasta el desierto de Negev, 87 km al sur de Tel Aviv, donde se almacena en seis depósitos con una capacidad total de 510,000 m³ antes de reutilizarla para el riego agrícola (15,000 ha). El proyecto, operativo desde 1989, requirió una inversión de 227 millones de euros en concepto de unos costes de tratamiento y de distribución de 0.12 y 0.4 €/m³ respectivamente (Friedler, 1999).

Tabla 2. 16
Ejemplos de SRRAR implantados en Israel (Friedler, 2001).

Región / Localidad	Capacidad (x 10 ⁶ m ³ /año)	Alcance
Getaot Kibbutz	~ 0.14	Local
Gedera Council	~ 1.5	Local
Jeezrael Valley	~ 8	Regional
Ciudad de Greater Haifa	~ 25	Inter-Regional
Ciudad de Greater Tel Aviv City	~ 130	Inter-Regional

El tratamiento de aguas residuales ha sido considerado por este país como una “nueva” fuente de agua y ha sido incorporado al balance hidráulico de la región. Este “nuevo” recurso puede sustituir a las fuentes convencionales de suministro y ser usado para la agricultura u otros usos donde no se requiere de agua de alta calidad. Israel actualmente reutiliza mas del 65% del total

de las aguas residuales municipales producidas en el país, y tiene planeado reutilizar en la próxima década más del 90% (Juanico y Friedler, 1999).

2.4.4.6 Jordania.

Las aguas residuales producidas en Jordania son del orden de los 232 Mm³/año. En el año 2000 este país contaba con 50 SRRAR que en su conjunto regeneraban 72 Mm³/año. El 85% de esta agua regenerada es reutilizada para el riego de 10,700 ha, lo que corresponde al 18.5% de la superficie total de riego de Jordania (Saghir, et al, 2000).

La mayor parte del agua regenerada es vertida y almacenada para ser reutilizada en el riego y la recarga de acuíferos. Sin embargo, en algunos lugares como King Talal, Wadi Shueib y Kafrein, utilizan estos almacenamientos para el suministro de agua, por lo que se realiza en una pequeña proporción la reutilización indirecta para usos potables. Por otra parte, la reutilización planificada directa para usos potables se ha incrementado desde 1985, aunque es muy limitada reutilizándose actualmente alrededor del 2%. El gobierno Jordano considera la regeneración y reutilización de las aguas residuales una prioridad, motivo por el cual ha establecido por ley que cualquier proyecto para la implantación de una EDAR debe ir acompañado de estudio de factibilidad técnico-económica de reutilización de las aguas regeneradas (Barhi, 2001).

Por ejemplo, el SRRAR de Amman, compuesto por un sistema lagunar cuya capacidad es de 170,750 m³/día, provee de aguas regeneradas al Valle del río de Jordania para su reutilización agrícola. Las aguas regeneradas son mezcladas con aguas superficiales en el embalse de King Talal para irrigar terrenos de cultivo aguas abajo. Las aportaciones de agua regenerada al embalse constituyen entre el 15 y el 80% de la capacidad de almacenamiento; estas acciones permiten la siembra en invierno y el riego de cultivos perennes (Barhi, 2001).

2.4.4.7 Kuwait.

Su principal fuente de suministro es el agua de mar, desalando anualmente un volumen de 240 Mm³, esencialmente para satisfacer las demandas de agua potable (el 95% del agua para consumo humano es derivada de la desalación). Las extracciones de aguas subterráneas suponen un volumen de 120 Mm³/año y la regeneración y reutilización de aguas residuales unos 52 Mm³/año (Al-Zubari, 1997).

Kuwait cuenta con un total de tres SRRAR, cuyas líneas de tratamiento comprenden los procesos de fangos activos, filtración en arena y desinfección con cloro. Estos tres sistemas llevan a cabo la regeneración de las aguas residuales del país, entre el 65 al 80% del agua

potable abastecida, que corresponde a un volumen anual aproximado de 103 Mm³/año. Se estima que se reutiliza el 10% del total de agua regenerada en el riego de 1,700 ha de cultivos, equivalentes aproximadamente al 25% de la superficie total irrigada de Kuwait (Barhi, 2001).

2.4.4.8 Emiratos Árabes Unidos.

Los Emiratos Árabes satisfacen sus demandas de agua principalmente de fuentes subterráneas, de los cuales se extraen 1,615 Mm³/año de agua, que corresponden al 78% de los recursos hídricos demandados. Además se desalan 385 Mm³/año y se regeneran y reutilizan 62 Mm³/año de aguas residuales lo que supone el 3% del agua utilizada (Al-Zubari, 1997). A continuación se presentan los casos de las ciudades de Abu Dhabi y Sharjah.

Abu Dhabi. Esta ciudad ha crecido rápidamente pasando de menos de 5,000 personas en los años 50 a más de 650,000 personas al día de hoy. Abu Dhabi y las ciudades colindantes consumen más de 350,000 m³/día de agua de mar desalada. Todas las aguas residuales de la ciudad son bombeadas a un único SRRAR en Mafraq, a 40 Km del centro de la ciudad. Los responsables del municipio de Abu Dhabi han desarrollado una estrategia para regenerar el 100% de todas las aguas residuales; el objetivo es obtener una calidad de agua tal que permita su reutilización para el riego de parques, jardines y terrenos agrícolas dedicados al cultivo de forrajes. Esto ha permitido que la ciudad de Abu Dhabi presente importantes zonas verdes a pesar de las altas temperaturas y una escasa precipitación anual. El agua regenerada contempla el tratamiento secundario, la filtración con arena y la desinfección con cloro. Aproximadamente se producen 200,000 m³/día de agua regenerada para ser utilizada en el riego de los espacios verdes de la ciudad. El crecimiento de las zonas verdes ha sido tal que en la época de verano existe escasez de agua regenerada; esta situación ha llevado a los responsables del municipio a implementar métodos más eficientes de irrigación y a sustituir la vegetación por plantas de baja demanda de agua (UNEP, 2003).

Sharjah. Como Abu Dhabi, Sharjah en los Emiratos Árabes Unidos confía en la desalación del agua de mar como su fuente primaria para el abastecimiento de agua. La estación para la desalación se ubica en la central eléctrica de Al-Layyah y produce aproximadamente 95,000 m³/día. Sharjah ha emprendido un programa de regeneración del agua residual que le permita ampliar sus espacios verdes. El municipio contempla la creación de 500 hectáreas de zonas verdes, de las cuales ya se han plantado 150. El SRRAR tiene una capacidad actualmente de 100,000 m³/día y está integrado por un proceso de fangos activos, filtración con arena por gravedad y desinfección con cloro. El agua regenerada es bombeada y conducida por 3 Km de tubería hasta unos tanques de almacenamiento elevados en Samnan. A partir de este punto el sistema de distribución para el riego de las zonas verdes de la ciudad funciona por gravedad (Water Technology, 2003).

2.4.4.9 Arabia Saudita

Este país se abastece de agua mediante fuentes convencionales y alternativas. La principal fuente de abastecimiento es el agua subterránea, con un total de 17,000 Mm³/día, que corresponde al 95% del suministro. Mediante la desalación se producen 795 Mm³/día (el 4% del suministro) y finalmente se reutilizan 150 Mm³/día de aguas regeneradas, que corresponden al 1% del total de recursos abastecidos. Las aplicaciones del agua regenerada son el riego agrícola y forestal, los usos recreativos, el riego de jardines y parques, la recarga en cuencas de infiltración y la inyección directa para la recarga del acuífero (Al-Zubari, 1997). Ejemplos de estos SRRAR son los implantados en las ciudades de Riad y Medina que a continuación se describen.

Riad. Ciudad ubicada en el centro de Arabia Saudita, en una región sumamente árida, alberga a 3.8 millones de habitantes. Debido a la escasa precipitación, esta ciudad se abastece con la desalinización del agua de mar (65%) y la extracción de aguas subterráneas (35%). La cobertura del alcantarillado es del 35% aproximadamente y el SRRAR es de nivel terciario con una producción de agua regenerada aproximada de 370,307 m³/día. En la actualidad se reutilizan 129,607 m³/día, de las cuales el 91% se destinan al riego y el 7% a sistemas de refrigeración. Sin embargo, la estrategia metropolitana de desarrollo de Riad propone reutilizar hasta el 50% de las aguas regeneradas en usos público-urbanos en el año 2021 (Lewin et al, 2002).

Medina. Esta ciudad recibe cada año a millones de peregrinos musulmanes durante el "Hajj". En 1985 el riego con agua regenerada, pero no desinfectada, de cultivos cercanos a la ciudad fue prohibido para evitar el riesgo de transmisión de enfermedades gastrointestinales, debido al consumo en crudo de vegetales y hortalizas. En la actualidad está restringido el riego con aguas regeneradas de cultivos que se consumen crudos. Desde 1988 se mejoró el SRRAR de Medina y actualmente cuenta con un proceso de fangos activos, filtración con arena y desinfección con cloro; la reutilización del agua regenerada se efectúa en usos público-urbanos (Pescod 1992).

2.4.5 Oceanía

2.4.5.1 Australia.

Este país, debido a sus condiciones climatológicas y de escasez de agua, ha emprendido en los últimos años acciones muy importantes para la regeneración y reutilización de aguas residuales. Entre estas acciones destaca el ambicioso plan estratégico para la regeneración y reutilización de aguas residuales de Queensland (QWRS). En este plan se enfatizan las

ventajas económicas, ambientales y sociales de invertir en los SRRAR, tanto por el sector público, como el privado (QWRS, 2001).

Los objetivos del plan estratégico incluyen reformas legislativas, desarrollar normas que establezcan los criterios de calidad del agua regenerada para su posterior reutilización, estimular la participación de la comunidad en este tipo de proyectos, fomentar la investigación, establecer proyectos de demostración, y crear centros de capacitación e información para los responsables de los SRRAR.

El QWRS se desarrolla dando primordial importancia a la participación social, pues considera esta participación como una de las piezas claves para el éxito del plan. Se busca consultar a los representantes de la comunidad, a las asociaciones industriales, a las instituciones educativas, y a las agencias de agua locales y estatales. Actualmente, se encuentran implantados y en funcionamiento varios SRRAR en Australia, entre los que destacan:

Virginia. La ciudad de Adelaide al sur de Australia, cuenta con un SRRAR que produce hasta 30 millones de m³/año de agua regenerada; esta agua es reutilizada en los terrenos de cultivo de Virginia, al norte de la ciudad, con el fin de regar cosechas hortícolas. El SRRAR cuenta con un proceso de separación por aire disuelto (DAF) y tiene una capacidad instalada de 120,000 m³/día (Marks, 1998).

Rouse Hill. Una de las aplicaciones más destacadas en Australia es la reutilización de agua regenerada en usos público-urbanos; un ejemplo de ello es el proyecto de Rouse Hill, al Nordeste de Sydney. Este proyecto contempla un sistema de distribución dual de agua regenerada, en una primera fase suministrará agua a 100,000 personas en 35,000 casas. Este proyecto vislumbra dar servicio a 300,000 personas. Este SRRAR permite abastecer a esta zona residencial agua que sustituye el uso de agua potable en la evacuación de retretes y el riego de jardines privados (Sydney Water, 2003).

Bahía de Homebush. En esta bahía sede de los Juegos Olímpicos de Sydney, se encuentra instalado un SRRAR que suministra hasta 7,000 m³/día de agua regenerada para cubrir las demandas de agua en usos no potables, como por ejemplo el suministro de retretes, y el riego de jardines públicos y privados (200 casas residenciales). El sistema cuenta con un proceso de microfiltración y ósmosis inversa, con lo cual se obtiene un agua de alta calidad. Este sistema reduce en aproximadamente unos 850,000 m³/año la extracción de agua dulce de las fuentes convencionales de abastecimiento (Anderson, 2001).

Central eléctrica de Eraring. Desde el SRRAR de Dora Creek, las aguas regeneradas son bombeadas hasta la Central Eléctrica de Eraring en los lagos de Macquarie, aproximadamente a 100 Km al norte de Sydney. La central da un tratamiento de acondicionamiento al agua

regenerada mediante microfiltración, ósmosis inversa y desmineralización, con lo cual se obtiene una alta calidad (agua purificada). Esta agua regenerada es reutilizada para abastecer la caldera que genera el vapor para las turbinas de la central eléctrica. Substituyendo aproximadamente un millón de m³/año de agua potable (Cole, 1994).

2.5 Conclusiones.

En aquellas regiones donde los recursos hídricos son abundantes, la reutilización de las aguas residuales, ya sean sin tratamiento previo o regeneradas, se da de una manera habitual. Debido a los fenómenos de dilución, asimilación y dispersión en las masas de agua, los contaminantes son minimizados o estabilizados, a tal grado que cuando las aguas son extraídas para algún uso, éstas cumplen con la calidad necesaria para ser utilizadas.

La situación se complica en aquellos lugares donde la disponibilidad de agua es baja, pues ello conlleva que los fenómenos antes mencionados no logren alcanzar una calidad del agua aceptable, y por lo tanto, los usos del agua empiecen a restringirse. Es en estas condiciones que la gestión del agua, entendida esta como una gestión integral, sostenible, eficiente, equitativa y por cuenca, cobra importancia para el buen uso del recurso. Es en esta gestión integral del agua, donde debe considerarse tanto la cantidad disponible, como la calidad que presenta el agua para poder ser utilizada.

El término aguas regeneradas, que cada día cobra mayor fuerza, tiene que ver simplemente con la búsqueda de la aceptación social de estas aguas, pues desde el punto de vista técnico, y siempre desde el ámbito de las aguas residuales, efluente tratado, aguas tratadas y aguas regeneradas son sinónimos.

Actualmente, la regeneración y reutilización planificada de las aguas residuales son entendidas como un plan general, científicamente organizado y con frecuencia de gran amplitud, cuya finalidad es la utilización del agua regenerada en uno o varios usos específicos. Tanto la regeneración como la reutilización pueden ser desarrolladas desde el responsable del vertido, en un ámbito meramente local, hasta establecerse lineamientos, programas y estrategias de ámbito nacional.

La evidencia internacional sobre la práctica de la regeneración y reutilización de aguas residuales es muy extensa, sin embargo, esta información se encuentra muy dispersa. Asimismo destaca la falta de información documental sobre la regeneración y/o reutilización de las aguas residuales en los países en vías de desarrollo.

Es significativo la existencia de varias corrientes que investigan sobre este tema sin que confluyan en un foro u organización común. Se perciben dos grupos de profesionales muy

definidos, por un lado una corriente de la ingeniería civil, particularmente de la sub-disciplina de la ingeniería sanitaria y por otro lado la ingeniería agrícola, esta última relacionada con la reutilización para ese uso en particular.

Por otro lado, la información reciente en el ámbito de la regeneración y reutilización de las aguas residuales es muy diversa, tanto en la forma como en el fondo. Esto provoca distorsiones en la información que suelen ser a priori engañosas.

Por ejemplo, a pesar de la existencia de un Sistema Internacional de Unidades, en el terreno de la regeneración y reutilización de las aguas residuales este sistema no es utilizado por todos los expertos. La primera complicación que existe al revisar la literatura especializada es la diversidad de las unidades en que son expresados los caudales regenerados y/o reutilizados. Así pues nos podemos encontrar con caudales expresados en litros por segundo, metros cúbicos por año o galones por día, hasta unidades tan localistas y particulares como las utilizadas en California, el acre-pie por año.

Por otra parte, es muy común expresar el beneficio de regenerar y reutilizar las aguas residuales como un porcentaje del total de las aguas residuales producidas. Sin embargo, esto es correcto bajo una visión de saneamiento, pero no cuando se habla de considerar a la regeneración y reutilización de aguas residuales como una fuente alternativa de abastecimiento.

Es decir, lo adecuado sería comparar el agua regenerada y reutilizada con respecto al total de los recursos hídricos utilizados en una determinada unidad de gestión. De esta manera se podrá observar la repercusión que tiene la regeneración y reutilización de aguas residuales como una fuente alternativa de abastecimiento.

Finalmente la investigación realizada demuestra que existen dos zonas donde la práctica de la regeneración y reutilización de las aguas residuales es evidente: 1) aquellas zonas continentales donde la precipitación es escasa y 2) las islas, donde debido posiblemente a la falta de infraestructura para la captación la reutilización se convierte en una opción para el suministro de agua. Así pues para estas dos regiones, existe una gran cantidad de literatura reciente que expone casos de estudio sobre la práctica de regenerar las aguas residuales y su posterior reutilización en todos los usos en los que se utiliza en agua, incluido el uso para consumo humano de forma directa.

Referencias

- AEMA (2001). Sustainable water use in Europe. Part 2: Demand management. No 19 Environmental issue report. European Environment Agency. <http://www.eea.eu.int/>
- AEMA (2003). European Environment Agency. <http://www.eea.eu.int/>
- Agua Fria Linear Recharge Project. (2003). city of Phoenix. <http://phoenix.gov/AGUAFRIA/index.html>
- Aguiar E., Delgado S, Renz O y González A. (1999). "Reutilización de aguas depuradas en la isla de tenerife. Instalaciones para la mejora de la calidad para uso agrícola". *Ingeniería Civil* CEDEX.Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. N° 113. <http://hispagua.cedex.es/grupo1/Revistas/Ingcivil/113/sumario.htm>
- Al-Zubari K. (1997). Towards the Establishment of a Total Water Cycle Management and Re-use Program in the GCC Countries. 7th Regional Meeting of the Arab National Committees of the International Hydrological Programme of UNESCO. Rabat, Morocco, 8-12 September. <http://unesco-cairo.org/Programmes/science/ihp/7thIHP.htm>
- Anderson J. (2001). International Wastewater Reuse Cases Study. Comunicación presentada en The 21st Century International Conference & Exhibition on Developing Strategy of Urban Wastewater Treatment and Reuse. Noviembre 27-29, 2001, Beijing, China. <http://211.147.14.17/lianmeng/21cnwater/eng-art/2001/ajs.htm>
- Angelakis A. y Spyridakis S. (1996). The status of water resources in Minoan times: a preliminary study. Angelakis and Issar Editores, Diachronic Climatic Impacts on Water Resources in Mediterranean Region. *Springer-Verlag*, Heidelberg, Alemania.
- Angelakis, A.; Salgot, M.; Bahri, A.; Marecos de Monte, M.; Brissaud, F.; Neis, U.; oron, G.; and Asano, T. (1997). Wastewater Reuse in Mediterranean Regions: Need for Guidelines. Artículo presentado en the WEF Beneficial Reuse of Water and Biosolids Specialty Conf., Málaga, España.
- Aragonès, M. (1998). El projecte de reutilització d'aigua per al reg agrícola en el Camp de Tarragona, incl. Comunicación presentada en Las Jornadas Técnicas. La gestión del agua regenerada. (R. Mujeriego y Ll. Sala eds.). pag. 85-96. Consorcio de la Costa Brava. Palamós.
- Arango, J.M. (1990). Panorama General sobre la reutilización del agua en el riego agrícola. Taller Internacional: Reuso del agua en la agricultura. Experiencia México - Israel.
- Asano, T. y Levine A. (1996). "Wasterwater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future". *Water Science and Technology*. vol.33, no. 10-11 pag. 1-14
- Asano, T. (1991). "Planning and implementation for Water Reuse Projects". *Water Science and Technology*. vol.10, no.9 pag. 1-10
- Asano, T. (2001). "Water from (waste)water – The dependable water resource the dependable water resource (The 2001 Stockholm Water Prize Laureate Lecture)". *Water Science & Technology* Vol 45 No 8 pag 23–33
- Asano, T. (Editor) (1998). *Wastewater Reclamation and Reuse*. Vol. 10. Water Quality Management Library. Technomic Publishing Inc. Lancaster, PA EE.UU.
- Bahri A. (2001). Irrigation with reclaimed water in tunisia and in middle eastern countries. Comunicación presentada en The 21st Century International Conference & Exhibition on Developing Strategy of Urban Wastewater Treatment and Reuse. noviembre 27-29, 2001, Beijing, China. <http://211.147.14.17/lianmeng/21cnwater/eng-art/2001/ajs.htm>
- Barbagallo, S., Cirelli G.L., y Indelicato, S. (2001). "Wastewater reuse in Italy". *Water Science & Technology* Vol 43 No 10 pag. 43–50
- Barty-King, H. (1992). *Water The Book*, an Illustrated History of Water Supply and Wastewater in the United Kingdom. Quiller Press Limited, London, U.K.
- Biswas, A. K. (1994). "Sustainable Water Resources Development: Some Personal Thoughts". *Water Resources Development*, Vol. 10, No. 2. pag. 109-116
- Blancas, C., Castillo, A., Picazo, J., and Lopez, J. (1997). Guidelines for the Safe Reuse of Municipal Wastewater in Andalusia (Spain). Comunicación presentada en the WEF Beneficial Reuse of Water and Biosolids Specialty Conf., Málaga, España.
- Bontoux J. y Courtois G. (1996). "Wastewater reuse for irrigation in France". *Water Science and Technology*. vol.33, no. 10-11. pag. 45-49.
- CNA (2002a). Programa Nacional de Regulación del Reuso del Agua 2002. Subdirección General Técnica. Comisión Nacional del Agua. <http://www.cna.gob.mx>

- CNA (2002b). Inventario Nacional de Plantas Potabilizadoras y de Tratamiento de Aguas Residuales 2002. Datos básicos del agua. Comisión Nacional del Agua. <http://www.cna.gob.mx>
- CNA (2003). Estadísticas del Agua en México 2003. Comisión Nacional del Agua. <http://www.cna.gob.mx>
- Cole, C y Deans, G (1994). From Effluent to Power: A Major Recycling Initiative by Hunter Water and Pacific Power, Comunicación presentada en el 4th NSW Recycled Water Seminar, Newcastle Mayo 1994, pag 28-35.
- Department of Environmental Protection of Florida (2003). <http://www.dep.state.fl.us/water/>
- DGCOH (2003). Infraestructura. Secretaría de Obras y Servicios. Gobierno del Distrito Federal. <http://www.obras.df.gob.mx/>
- Dinar A. y Subramanian A. (1998). "Policy implications from water pricing experiences in various countries". *Water Policy* vol 1 pag.. 239-250
- Dinar A. (1998). "Water policy reforms: information needs and implementation obstacles". *Water Policy* vol. 1 pag. 367-382
- Directiva CE, (2000). Directiva 2000/60/CE, Ed. DOCE. <http://hispagua.cedex.es/bbdd/Legis/Textos/Europa/964.pdf>
- EBMUD (2003). East Bay Municipal Utility District. <http://www.ebmud.com/index.html>
- Embid, A. (2000). Reutilización y desalación de aguas. Aspectos jurídicos. La reforma de la Ley de Aguas. Ed. CIVITAS Zaragoza, España
- FAO (2002). The use of treated wastewater (tww) in forest plantations in the near east region. Décima quinta sesión de la Comisión de Silvicultura del Oriente. Khartoum, Republic of the Sudan, 28-31 January 2002. <http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/004/AB400E.HTM>
- Friedler E. (1999). "The Jeezrael Valley Project for Wastewater Reclamation and Reuse, Israel". *Water Science and Technology* Vol 40 No 4-5, pag. 347-354
- Friedler E. (2001). "Water reuse – an integral part of water resources management: Israel as a case study". *Water Policy* 3 pag. 29 – 39.
- Grobicki A, y Cohen B (1999). "A flow balance approach to scenarios for water reclamation". *Water SA*. Vol. 25, No. 4. Octubre 1999. pag 473-482. <http://www.wrc.org.za>
- Iglesias, M.F. (1997). Wastewater Treatment Plan and Water Reuse for Campo de Dalías. Comunicación presentada en the WEF Beneficial Reuse of Water and Biosolids Specialty Conf., Málaga, España.
- INEGI (2003). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. <http://www.inegi.gob.mx>
- IRWD (2003). Irvine Ranch Water District. <http://www.irwd.com/>
- IWA (2003). International Water Association. <http://www.iwap.co.uk/>
- Jiménez, B.; Chávez, A.; Barrios, E., Pérez, R. (2001). "Reuso del agua en el valle del Mezquital, México." *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental* N° 59. Nov-Dic 2001. <http://www.aidisar.org/isa59.htm>
- Juanico M y Friedler E. (1999). "Wastewater Reuse for River Recovery in Semi-Arid Israel". *Water Science and Technology* Vol 40 No 4-5. pag. 43-50.
- Kamizoulis G., Bahri A., Brissaud F., y Angelakis A.N. (2003). Wastewater Recycling and Reuse Practices in Mediterranean Region: Recommended Guidelines. MED-REUNET Mediterranean Network on Wastewater Reclamation and Reuse. Case Studies <http://www.med-reunet.com/home.asp>
- Karajeh F., Mukhamedjanov V., y Vyshpolskiy F. (2000). "Treated wastewater is being used to irrigate crops in Kazakstan, making farmers happier and benefiting the environment". *Icarda Caravan*. No. 13, pag. 30 Diciembre 2000. <http://www.icarda.cgiar.org>
- Katz R. et al (2003). Water Recycling 2030. Recycled Water Task Force. California Department of Water Resources. <http://www.owue.water.ca.gov/recycle/docs/FinalReport.pdf>
- LACSD (2003). Sanitation Districts of Los Angeles County. <http://www.lacsd.org/>
- Lazarova V., Levine B., Sack J., Cirelli G., Jeffrey P., Muntau H., Brissaud F., y Salgot M. (2001). "Role of water reuse for enhancing integrated water management in Europe and Mediterranean countries". *Water Science & Technology* Vol 43 No 10 pag 25-33
- Lewin et al (2002). Mejora y mantenimiento de la calidad del agua en las metrópolis. Informe de la Comisión. World Association of the Major Metropolises. www.metropolis.org

- López García J., Garciaecheverría I, Del río F. (1998). "La reutilización integral de las aguas residuales urbanas de Vitoria-Gasteiz (España)". *Ingeniería Civil*, No. 110. pag. 211-223
- Marecos do Monte M., Angelakis A. y Asano T. (1996). "Necessity and basis for establishment of European guidelines for reclaimed wastewater in the Mediterranean region". *Water Science and Technology* Vol 33 No 10-11. pag 303-316
- Marks R (1998). Development of Australia's Largest High Quality Effluent Reuse Scheme - Bolivar SA, Comunicación presentada en la conferencia regional - Integrating the Urban Water Cycle, Sydney, Nov 1998, pag 564-570.
- Marzo, F. (1998). Reutilización del agua en la Costa del Sol Occidental, incl. en Jornadas Técnicas. La gestión del agua regenerada. (R. Mujeriego y LI. Sala, eds.) pag.. 75-84. Consorcio de la Costa Brava. Palamós.
- Mestre, E. (1999). Hacia una Gestión Integral, Compartida, Eficiente, Racional, Equitativa y Sustentable del Agua. Apuntes Diplomado sobre Gestión Integral del Agua y Manejo de Cuencas Hidrográficas. León Guanajuato, Mex. Miembro permanente de la Red Internacional de Organismos de Cuenca. <http://www.inbo-news.org/riobesp.htm>.
- MMA (2000). Libro Blanco del Agua en España. Ministerio de Medio Ambiente. Centro de Publicaciones de la Secretaría general Técnica. http://hispagua.cedex.es/Grupo1/Documentos/l_b/indice.htm
- MRWPCA (2003). Monterey Regional Water Pollution Control Agency. <http://www.mrwPCA.org/>
- OCWD (2003). Orange County Water District. http://www.ocwd.com/_html/wf21.htm
- Odendaal, P y Van Hattingh W. (1991). The status of potable reuse research in south africa. Jornada de trabajo sobre planificación y realización de proyectos de reutilización de agua. 27 de septiembre de 1991. Castell Platja d'Aro, Gerona, España. Ed. Rafael Mujeriego y Takashi Asano.
- Odendaal, P y Van Vuuren L. (1991). Reuse of wastewater in south africa. Jornada de trabajo sobre planificación y realización de proyectos de reutilización de agua. 27 de septiembre de 1991. Castell Platja d'Aro, Gerona, España. Ed. Rafael Mujeriego y Takashi Asano.
- Odendaal, P. (1991). "Recent Advances in water reuse research in south africa". *Water Science and Technology*. vol.23. pag 2061-2071
- Ogoshi M., Suzuki Y. y Asano T. (2001). "Water reuse in Japan". *Water Science & Technology* Vol 43 No 10. pag. 17-23
- Olcina C. J. (2002). Planificación hidrológica y recursos de agua no convencionales en España. *Insuficiencias hídricas y Plan Hidrológico Nacional*. edición de A. Gil Olcina y A. Morales Gil. Edición digital basada en la edición, Alicante, Caja de Ahorros del Mediterráneo, Instituto Universitario de Geografía, 2002. <http://cervantesvirtual.com/>
- OPS (2001). Informe Regional sobre la Evaluación 2000 en la Región de las Américas. Agua potable y saneamiento, estado actual y perspectivas. Organización Panamericana de la Salud. Washinton D.C., septiembre de 2001. <http://www.cepis.ops-oms.org>
- Peasey A, Blumenthal U, Mara D, y Ruiz-Palacios G. (2000). A Review of Policy and Standards for Wastewater Reuse in Agricultura: A Latin American Perspective. London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK WEDC, Loughborough University, UK. <http://www.lboro.ac.uk/well/>
- Pérez, J. (2003). Intérn@te en el agua de la ciudad de México. Gobierno del Distrito Federal. <http://www.df.gob.mx/>
- Pescod M.B. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47. Food and Agriculture Organization of the United Nations Roma, 1992. <http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>
- QWRS (2001). Queensland Water Recycling Strategy. the Environmental Protection Agency and the Queensland Parks and Wildlife Service. <http://www.env.qld.gov.au/environment/environment/>
- Riba R. y Pagès F. (1998). L'impacte ambiental de la fabricació i transformació de materials. *Medi ambient i tecnologia*. Guia ambiental de la UPC. Ediciones UPC.
- Saghir, J. Schiffler M. Y Woldu M. (2000). *Urban Water and Sanitation in the Middle East and Nort Africa Region: The Way Forward*. The Word Bank. Washington, EE.UU.
- Sala, L. y Serra, M. (1998). Experiencia práctica y situación de la reutilización del agua en el Consorcio de la costa Brava. *La gestión de agua regenerada*. Ed. R. Mujeriego y LI. Sala.

- Saleth R. y Dinar A. (2000). "Institutional changes in global water sector: trends, patterns, and implications". *Water Policy* 2 pp. 175-199
- Saleth R. y Dinar A. (1999). *Evaluating water institutions and water sector performance*. The International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. Washington, EE.UU.
- Shelef G. (1991). "The role of wastewater reuse in water resources management in Israel". *Water Science and Technology* Vol 23 pag 2081-2089
- Shelef G., Azov Y., Kanarek A., Zac G. y Shaw A. (1994). "The dan region sewerage wastewater treatment and reclamation scheme". *Water Science and Technology* Vol 30 No 9 pag. 229-238
- Shelef G. y Azov Y. (1996). "The coming era of intensive wastewater reuse in the Mediterranean region". *Water Science and Technology* Vol 33 No 10-11 pag. 115-125
- South Bay Water Recycling (2003). The City of San José, California. <http://www.ci.san-jose.ca.us/sbwr/>
- Sydney Water (2003). <http://www.sydneywater.com.au/>
- Tchobanoglous G. y Angelakis A. (1996). "Technologies for wastewater treatment appropriate for reuse: potential for applications in Greece". *Water Science and Technology* Vol 33 No 10-11 pag 15-24
- Tsagarakis K.P., Mara D.D. y Angelakis A.N. (2001). "Wastewater management in Greece: experience and lessons for developing countries". *Water Science & Technology* Vol 44 No 6 pag 163-172
- UNEP (2002). Atlas of International Freshwater Agreements. United Nations Environment Programme. <http://www.unep.org/>
- UNEP (2003). Sourcebook of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in West Asia. Newsletter and Technical Publications. International Environmental Technology Centre. <http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-8f/B/Reuse1-2.asp>
- UNESCO (2003). Information about world water use & water availability. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/index.shtml>
- USGS (1995). U.S. Geological Survey. Estimated Use of Water in the United States in 1995. <http://water.usgs.gov/watuse/pdf1995/html/>
- Van der Merwe B. y Haarhoff J. (1996). "Twenty-five years of wastewater reclamation in windhoek, Namibia". *Water Science and Technology* Vol 33 No 10-11 pag 25-35
- Water Conserv II (2003). <http://www.waterconservii.com>
- Water Technology (2003). Sharjah wastewater treatment plant, united arab emirates. <http://www.water-technology.net/projects/sharjah/index.html>
- Xu P., Valette F., Brissaud F., Fazio A. y Lazarova V. (2001). "Technical-economic modelling of integrated water management: wastewater reuse in a French island". *Water Science & Technology* Vol 43 No 10 pag 67-74
- Yanbo Z. (2001). The Present Condition and Development of Waste Water Utilization in the Central Area of Tianjin City. Comunicación presentada en The 21st Century International Conference & Exhibition on Developing Strategy of Urban Wastewater Treatment and Reuse. November 27-29, 2001, Beijing, China. <http://211.147.14.17/lianmeng/21cnwater/eng-art/2001/zyb.htm>
- Yue Z. y Xingcan Z. (2001). Municipal Wastewater Reclamation and Reuse--An Important Way to Alleviation of Urban Water Shortage Crisis. Comunicación presentada en The 21st Century International Conference & Exhibition on Developing Strategy of Urban Wastewater Treatment and Reuse. November 27-29, 2001, Beijing, China. <http://211.147.14.17/lianmeng/21cnwater/eng-art/2001/zy.htm>