

# Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?



# Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?

*Autores:*

**James Winpenny**  
(Wychwood Economic Consulting Ltd., Reino Unido)

**Ingo Heinz**  
(Universidad Técnica de Dortmund, Alemania)

**Sasha Koo-Oshima**  
(Ex División de Tierras y Aguas de la FAO)

*Autores de los Estudios de Casos:*

**Miguel Salgot**  
(Universidad de Barcelona, España)

**Jaime Collado**  
(ICID, México)

**Francesc Hernández**  
(Universidad de Valencia, España)

**Roberta Torricelli**  
(Universidad de Barcelona, España)

*Edición técnica en español:*

**Javier Mateo-Sagasta**  
(División de Tierras y Aguas de la FAO)

**Pilar Román**  
(Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe)

**Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura**  
Roma 2013

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en esta publicación son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la FAO.

ISBN 978-92-5-306578-3

Todos los derechos reservados. La FAO fomenta la reproducción y difusión del material contenido en este producto informativo. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. La reproducción para la reventa u otros fines comerciales, incluidos fines educativos, podría estar sujeta a pago de tarifas. Las solicitudes de autorización para reproducir o difundir material de cuyos derechos de autor sea titular la FAO y toda consulta relativa a derechos y licencias deberán dirigirse por correo electrónico a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org), o por escrito al Jefe de la Subdivisión de Políticas y Apoyo en materia de Publicaciones, Oficina de Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma (Italia).

© FAO 2013

# Índice

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE MAPAS	vii
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
AGRADECIMIENTOS	xiii
RESUMEN	xv
 CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN A LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	1
1.1. Antecedentes, contexto y temas clave	1
1.2. Objetivo del informe	1
1.3. El contexto mundial	2
1.4. Razones para reutilizar aguas residuales	8
1.5. Reutilización de las aguas residuales en la práctica	11
1.6. Problemas de salud pública y directrices	14
1.7. Calidad de las aguas residuales: procesos de tratamiento básicos	18
1.8. Temas ambientales, de infraestructura y legales	19
 CAPÍTULO 2	
UNA PERSPECTIVA REGIONAL: INTRODUCCIÓN A LOS ESTUDIOS DE CASO DE ESPAÑA Y MÉXICO	23
2.1. España: Delta del Llobregat	24
2.2.1. Características del lugar	24
2.1.2. Tratamiento de las aguas residuales	27
2.1.3. Expansión de la reutilización del efluente en agricultura	28
2.1.4. Intercambio de agua entre sectores	29
2.2. España: Delta del Tordera y Costa Brava	31
2.2.1. Características del lugar	31
2.2.2. La finca Mas Pijoan – un microcosmos de reutilización	33
2.2.3. Opciones para el futuro	33
2.3. México: Ciudad de México y Valle de Tula	36
2.3.1. Características del lugar	36
2.3.2. Impactos de la regeneración del agua y su uso en agricultura	38
2.4. México: Proyecto de riego de ciudad de Guanajuato y la Purísima	39
2.4.1. Características del lugar	39
2.5. Módulo de riego de la ciudad de Durango y Guadalupe Victoria	41
2.5.1. Antecedentes	41
2.5.2. Características del lugar	42



2.5.3. Potencial de los intercambios de agua entre sectores	42
2.5.4. Posibilidades de largo plazo	44
2.6. Resumen general final de los estudios de caso	44
 CAPÍTULO 3	
UNA METODOLOGÍA ECONÓMICA PARA EVALUAR LA VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DE AGUA REICLADA EN AGRICULTURA	47
3.1. Introducción: un enfoque en tres niveles	47
3.2. Evaluación económica: Análisis Costo-Beneficio (ACB)	48
3.2.1. Beneficios (ver también 3A6)	50
3.2.2. Costos (ver también 3A5)	50
3.2.3. Algunos pasos prácticos para utilizar el ACB o el Análisis Costo-Eficacia (ACE) en proyectos de reutilización	51
3.3. Análisis Costo-Eficacia (ACE)	59
3.4. Viabilidad financiera	59
3.4.1. Impacto financiero en las partes interesadas clave	59
3.4.2. Transferencias e instrumentos financieros	60
3.4.3. Financiación del proyecto	63
 ANEXO DEL CAPÍTULO 3	
ORIENTACIÓN ADICIONAL ACERCA DE LA METODOLOGÍA DE COSTO-BENEFICIO Y EL ANÁLISIS COSTO-EFICACIA QUE SE RELACIONA CON LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS	64
3A1. Ajuste de las distorsiones económicas	64
3A2. Impuestos, subvenciones y pagos transferidos	64
3A3. Ítems comercializables, no comercializables y no cuantificables	64
3A4. Valor de la salud y la enfermedad	65
3A5. Costos	66
3A6. Beneficios	67
3A7. Estimación de las tasas de actualización	68
3A8. Análisis y evaluación del riesgo	69
 CAPÍTULO 4	
RESULTADOS Y CONCLUSIONES DE LOS ESTUDIOS DE CASOS	73
4.1. España: Delta del Llobregat	73
4.1.1. Situación general	73
4.1.2. Especificación de las opciones preferidas	73
4.1.3. Implicaciones del análisis costo-beneficio	76
4.1.4. Viabilidad financiera	76
4.2. Delta del Tordera y Costa Brava	79
4.2.1. Situación general	79
4.2.2. Especificación del proyecto	80
4.2.3. Evaluación del impacto del proyecto	80
4.3. México	85
4.3.1. Ciudad de México y Valle de Tula	85
4.3.2. Ciudad de Guanajuato y La Purísima	86
4.3.3. Módulo de riego de la ciudad de Durango y Guadalupe Victoria	86
4.4. Problemas que surgen del uso de la metodología económica	88
4.5. Repercusiones de los resultados de los estudios de casos en las políticas	89

---

CAPÍTULO 5	
UN MARCO DE PLANIFICACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN DE AGUAS REGENERADAS	91
5.1. Proceso de planificación del proyecto	91
5.2. Identificación del problema y objetivos del proyecto	93
5.3. Definición del área de estudio y antecedentes	94
5.4. Evaluación del mercado y seguros del mercado	96
5.5. Identificación de las alternativas de proyecto	98
5.6. Evaluación y clasificación de las alternativas del proyecto	99
5.7. Plan de implementación del proyecto	100
5.8. Problemas técnicos	101
CAPÍTULO 6	
CONCLUSIONES	109
6.1. Contexto y punto de partida	109
6.2. Sinergias y oportunidades para todos	110
6.3. Riesgos y gestión de riesgos	112
6.4. La viabilidad de la reutilización del agua	113
6.5. Sensibilización de la opinión pública	114
REFERENCIAS	115
ANEXO	119



## Lista de figuras

Figura 1.1	Recursos renovables reales de agua y aguas subterráneas por habitante en el año 2005 (m <sup>3</sup> /año)	5
Figura 1.2	Índice de Intensidad de Uso del Agua por país (alrededor de 2001)	5
Figura 1.3	Sistemas de reutilización de aguas municipales, por campo de aplicación (AQUAREC, 2006)	12
Figura 1.4	Opciones para la reducción de agentes patógenos tales como virus, bacterias y protozoos (OMS, 2006)	16
Figura 2.1	Canales de desviación en el curso inferior del río Llobregat	26
Figura 2.2	Esquema de tuberías de riego de Mas Pijoan (2006)	35
Figura 4.1b	Mapa de la planta de tratamiento de aguas residuales y agua regenerada. Área de agricultura de regadío	77
Figura 4.1a	Infraestructura del proyecto	77
Figura 5.1	Proceso de planificación del proyecto	91
Figura 5.2	Trayecto de las aguas residuales desde la fuente al punto de uso o descarga	101
Figura 6.1	Ejemplo simplificado de intercambio de aguas intersectorial bajo condiciones de escasez	111

## Lista de mapas

Mapa 2.1	Cuenca del río Llobregat	25
Mapa 2.2	Plantas de tratamiento de aguas servidas	27
Mapa 2.3	Demanda de agua regenerada en el delta del Llobregat	31
Mapa 2.4a	Distribución de pozos en el delta del Tordera	32
Mapa 2.4b	Plantas de tratamiento de aguas servidas	32
Mapa 2.5	PTAR de Castell – Platja d’Aro	34
Mapa 2.6	Distritos de riego de Ciudad de México y Valle de Tula	37
Mapa 2.7	Unidades de Riego Aguas Abajo de la Ciudad de Guanajuato	39
Mapa 2.8	Módulo de Riego de la Ciudad de Durango y Guadalupe Victoria	41
Mapa 2.9	Red entre la planta de desalinización de Blanes y el proveedor de agua en el delta del Tordera	43

# Lista de tablas

Tabla 1.1	Valores mínimos que se utilizan para caracterizar el déficit hídrico dentro de una región	4
Tabla 1.2	Consideraciones sobre los sectores en competencia por los recursos hídricos en diferentes ubicaciones	6
Tabla 1.3	Valores del uso del agua en los EE.UU. por sector	12
Tabla 1.4	Cultivos agrícolas que utilizan aguas residuales municipales sin tratar o tratadas parcialmente	15
Tabla 1.5	Categorías de calidad del agua para diferentes usos finales de aguas residuales regeneradas definidas por el proyecto Aquarec	17
Tabla 1.6	Ejemplos de Cultivos Regados con Aguas Residuales Tratadas	18
Tabla 1.7	Factores que influyen en la selección del método de riego y medidas especiales necesarias para las aplicaciones de agua regenerada	21
Tabla 1.8	Clasificación de las prácticas de cultivo como función del riesgo sanitario para los trabajadores agrícolas	21
Tabla 1.9	Niveles de riesgo asociados con los diferentes tipos de cultivos que se riegan con agua regenerada	21
Tabla 2.1	Lugares de los cuales proviene el material de los casos	23
Tabla 2.2	Aguas residuales y su reutilización en el delta del Llobregat (2006)	29
Tabla 2.3	Acciones planificadas en el delta del Llobregat y en el área metropolitana de Barcelona para mejorar la gestión hídrica	30
Tabla 2.4	Uso del agua regenerada con propósitos múltiples, proyectado en el delta del Llobregat para el año 2015	31
Tabla 2.5	Costo de inversión de la expansión del uso de agua regenerada en el área de Platja d'Aro	36
Tabla 2.6	Disponibilidad adicional de agua en el valle de Tula debido a las aguas residuales	38
Tabla 2.7	Resumen estudios de caso	45
Tabla 3.1	Valor Económico Total	56
Tabla 3.2	Efecto financiero de la reutilización del efluente sobre las principales partes interesadas.	61
Tabla 4.1	Costos y beneficios de los proyectos	74
Tabla 4.2	Asignación propuesta del agua regenerada adicional en el área de Platja d'Aro	80
Tabla 4.3	Proyecto de Blanes: categorías de costo y beneficio	80
Tabla 4.4	Costos y beneficios de la mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales Platja d'Aro	82
Tabla 4.5	Comparación entre la situación pasada y presente en la finca Mas Pijoan	83
Tabla 4.6	Marco costo-beneficio para un acuerdo intersectorial en la ciudad de Durango. Valores en millones de pesos mexicanos	87
Tabla 5.1	Descripción de un plan de regeneración de aguas residuales e instalaciones de reutilización	92
Tabla 5.2	Características del área de estudio e información de referencia	95
Tabla 5.3	Pasos en la recopilación de antecedentes para una evaluación del mercado de agua regenerada	96
Tabla 5.4	Información requerida para un estudio de mercado de agua regenerada acerca de los posibles usuarios	97
Tabla 5.5	Posibles inquietudes de los agricultores con respecto al agua regenerada	98
Tabla 5.6	Reutilización de agua: ejemplos de alternativas de proyecto	98
Tabla 5.7	Elementos de costos más importantes de los sistemas de reutilización de aguas residuales	102
Tabla 5.8	Calidad y efectos del agua regenerada en el uso agrícola	103
Tabla 5.9	Agentes patógenos o sustancias químicas transmitidas por el agua que afectan la salud, presentes en las aguas residuales	105
Tabla 5.10	Resumen de los riesgos para la salud asociados con el uso de aguas residuales para el riego	105



# Lista de cuadros

Cuadro 1.1	Tratamiento integrado de aguas residuales y reutilización en Túnez	13
Cuadro 1.2	Posible impacto de la Directiva Marco Europea del Agua en cuanto a la reutilización de aguas residuales	14
Cuadro 2.1	Política hídrica en el delta del Llobregat	30
Cuadro 2.2.	La finca Mas Pijoan	34
Cuadro 3.1	Estimación de la preferencia social en el tiempo	69
Cuadro 4.1	Opciones preferidas en las plantas de tratamiento de aguas residuales Sant Feliu y El Prat	74
Cuadro 4.2	Cita de Global Water Intelligence	90
Cuadro 5.1	El marco de planificación	91
Cuadro 5.2	Criterios para elegir un proyecto	99



# Lista de abreviaturas

ACA	Agencia Catalana del Agua
ACB	Análisis Costo Beneficio
ACE	Análisis Costo-Eficacia
ACRM	Análisis cuantitativo de riesgos microbianos
APPCC	Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control
AVAC	Año de Vida Ajustado por Calidad
AVAD	Año de Vida Ajustado por Discapacidad
CET	Construcción, explotación y transferencia
CO	Costo de Oportunidad
DAP	Disposición a Pagar
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DCET	Diseño, construcción, explotación y transferencia
DMA	Directiva Marco del Agua
EA	Evaluación Económica
EDI	Electrodialisis Inversa
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FRC	Factor de Recuperación del Capital
GIRH	Gestión Integrada de los Recursos Hídricos
AMC	Análisis de Múltiples Criterios
MTD	Mejor Tecnología Disponible
NDMA	N-Nitrosodimetilamina
OMS	Organización Mundial de la Salud
PSA	Pago por Servicios Ambientales
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RCB	Relación Costo-Beneficio
SCAEI	Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica para los Recursos Hídricos
TSPT	Tasa Social de Preferencia Temporal
TRPA	Tasa de Retorno del Primer Año
TIR	Tasa Interna de Retorno
UE	Unión Europea
VAN	Valor Actual Neto



# Agradecimientos

Este documento fue desarrollado gracias a los Fondos del Programa de la Sede de la FAO con la participación del Comité Nacional Mexicano de la Comisión Internacional de Riegos y Drenajes (ICID), universidades españolas de Barcelona y Valencia, la Agencia Catalana del Agua, la Universidad de Dortmund de Alemania y James Winpenny de Wychwood Economic Consulting, Ltd. del Reino Unido. El trabajo sobre el cual se basa el informe final fue resumido originalmente por el profesor Ingo Heinz de la Universidad de Dortmund con estudios de casos preparados por: Jaime Collado, Miguel Salgot, Francesc Hernández, Roberta Torricelli y Lorenzo Galbiati.

La revisión del documento fue realizada por: Richard Mills de la Junta Estatal para el Control de Recursos Hídricos de California; Curtis Cooper de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU.; Robert S. Kerr Environmental Research Center; Natalie Fonder de la Facultad de Ciencias Agronómicas de Gembloux y la División de Tierras y Aguas de la FAO.

La traducción del informe al español lo llevó a cabo Paula Valdivieso, con Javier Mateo-Sagasta (Oficial de Calidad y Reutilización de Aguas de la División de Tierras y Aguas de la FAO), Benjamin Kiersch y Pilar Román de la Oficina Regional de América latina y Caribe de la FAO a cargo de la revisión y edición técnica.

Se agradece también a: James Winpenny por su sustancial contribución a la tarea de reunir el material para crear un documento coherente y de referencia; Sasha Koo-Oshima, quien inició el estudio y era el Oficial de Programas de la FAO a cargo de Calidad del Agua y Medio Ambiente; Pasquale Steduto, Jefe de la División de Tierras y Aguas de la FAO, quien facilitó los fondos necesarios, y Luis Rendón, Presidente de la ICID de México y Gerente de Distritos y Unidades de Riego de la Comisión Nacional del Agua de México, quien facilitó algunos de los proyectos de campo usados en el informe. El apoyo en cuanto a diseño gráfico, producción editorial y fotográfica estuvo a cargo de Bouchra El Zein y Simone Morini.

Se agradece además a quienes contribuyeron y organizaron las misiones de campo:

México

Ing. Sergio Soto Priante, Director General Adjunto de Infraestructura Hidroagrícola de la Comisión Nacional del Agua de México

Ing. Filemón Rodríguez, Embalse Tula ID003

Ing. José Rodríguez, Módulo de Riego La Purísima

Ing. Carlos Rascón, ID052 Durango

Ing. Miguel Calderón, Aguas del Municipio de Durango

Eugenio García, Presidente de la Asociación de Usuarios de Agua, Módulo de Riego Cortázar

Ramiro Merino, Gerente del Módulo de Riego Cortázar

Pedro Caudillo Mendiola, Productores Agrícolas de la Presa la Purísima

Ignacio Acosta Mena, Productores Agrícolas de la Presa la Purísima (Presidente)

Agricultores de los distritos de riego representados

Representación de la FAO en México – Norman Bellino y María Carmen Culebro

Jaime Collado, Vicepresidente ICID México, Organizador de la misión de campo en México

España

Lorenzo Galbiati, Agencia Catalana del Agua, Precios del agua y finanzas



Enric Queralt Creus, Comunidad de Usuarios de Aguas del Delta del Llobregat

Elena Isla, Parque Agrario del Baix Llobregat

Ramón Terricabras Maranges, Parque Agrario del Baix Llobregat

Luis Sala i Genóher, Consorcio de la Costa Brava

Agricultores de los deltas de los ríos representados en este informe y

Miguel Salgot, Universidad de Barcelona y Aquarec de la Unión Europea, Organizador de la misión de campo en España.

# Resumen

## LA REUTILIZACIÓN COMO RESPUESTA FRENTE A LA ESCASEZ DE AGUA

El uso en agricultura de agua regenerada es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua, poblaciones urbanas crecientes y con una mayor demanda de agua de riego. Este informe presenta un marco económico para la evaluación del uso de agua regenerada en agricultura, como parte de un proceso de planificación integral en la asignación de recursos hídricos para lograr una utilización del agua más eficiente y sostenible desde el punto de vista económico. Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. El déficit hídrico también se produce por la contaminación provocada por las aguas residuales de ciudades en expansión, muchas de las cuales solo han sido tratadas de manera parcial, y de la contaminación de los acuíferos por diversas fuentes. Dicha contaminación del agua empeora los efectos de la escasez, al reducir la cantidad de agua segura para el consumo. La escasez de agua en todos sus aspectos conlleva graves costos económicos, sociales e incluso políticos.

En tiempos de escasez extrema, las autoridades nacionales suelen optar por derivar el agua de los agricultores hacia las ciudades, dado que el agua tiene mayor valor económico en su uso industrial y urbano que en la mayoría de los fines agrícolas. En estas circunstancias, el uso de agua regenerada en agricultura permite conservar agua dulce para un fin de mayor valor económico y social y, al mismo tiempo, los agricultores reciben un suministro de agua fiable y rico en nutrientes. Este intercambio también acarrea posibles beneficios ambientales, al permitir la asimilación de los nutrientes de las aguas residuales por las plantas y reducir así la contaminación aguas abajo. El reciclaje del agua puede ofrecer un “triple dividendo” para los usuarios urbanos, agricultores y el medio ambiente.

El uso de agua regenerada puede ayudar a mitigar los efectos negativos de la escasez del agua a nivel local. No es la única opción para lograr un mejor equilibrio entre la oferta y la demanda (y este informe muestra cómo se pueden analizar y comparar diferentes opciones), pero en muchos casos es una solución costo-eficaz, como lo demuestra el creciente número de sistemas de reutilización en diferentes partes del mundo. Una encuesta global (Aquarec 2006) ha demostrado que hasta esa fecha existían alrededor de 3 300 centros de regeneración de agua a nivel mundial. La agricultura es el usuario principal de agua regenerada y, según se ha informado, se utiliza para este propósito en alrededor de 50 países, en 10% de todas las tierras de regadío.

## LOS BENEFICIOS Y COSTOS DE LOS PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN

La viabilidad de la reutilización dependerá de las circunstancias locales, las cuales afectarán el equilibrio entre los costos y los beneficios. Probablemente el principal beneficio en la mayoría de los casos sea el valor del agua dulce que se intercambia por un uso urbano o industrial de mayor valor. Esto podría reducir el costo para las autoridades municipales de buscar sus suministros a través de medios más costosos. Además, la reutilización impide que se viertan aguas residuales sin tratar en los sistemas costeros y de aguas subterráneas, lo cual trae beneficios para el turismo y los ecosistemas.

Dependiendo de la situación local, también podría haber beneficios para los agricultores si logran evitar algunos de los costos de extraer aguas subterráneas, al mismo tiempo que los nutrientes presentes en las aguas residuales podrían permitir un ahorro en fertilizantes. También podría haber beneficios para el medio ambiente local gracias a la reducción de los flujos de aguas residuales sin tratar, aunque la interrupción del ciclo de aguas abajo podría acarrear otros efectos menos positivos.

Los costos de la reutilización podrían incluir la instalación o mejora de las plantas de tratamiento de aguas residuales para producir un efluente de la calidad deseada, cualquier ampliación o modificación de la infraestructura de distribución de agua dulce y de agua regenerada, costos adicionales para el mantenimiento y operación del tratamiento, y los costos de cualquier restricción de la producción impuesta por el uso de agua regenerada para el riego. Cuando las características climáticas y geográficas lo permitan, el tratamiento de bajo costo de las aguas residuales puede ser una opción viable a través del uso de estanques de estabilización, humedales artificiales, etc. El costo neto del tratamiento también puede reducirse a través de la producción y reutilización del biogás para generación de energía y electricidad en los procesos de tratamiento intensivos, o posiblemente a través de la venta de bonos de carbono.

### **JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

La evaluación económica del proyecto debe realizarse a escala de cuenca regional, comparando los costos y beneficios económicos del proyecto a esta escala. En base a la evidencia observada en nuestros casos de estudio, es poco probable que estos sistemas se justifiquen económicamente considerando solo la agricultura. A pesar de que los agricultores pueden ser beneficiarios netos gracias al uso de aguas residuales tratadas, en comparación con sus fuentes de agua anteriores o alternativas, esto depende mucho de las circunstancias locales y en todo caso es posible que sus beneficios netos no compensen los costos totales del sistema. Por otro lado, los beneficios para los usuarios urbanos e industriales podrían ser relativamente considerables y en muchos casos serían la justificación principal del proyecto. El impacto neto del proyecto en el medio ambiente local y aguas abajo también será muy específico según el lugar y es probable que existan beneficios y costos.

### **VIABILIDAD FINANCIERA**

Una vez establecida la justificación económica básica del proyecto, el paso siguiente consiste en examinar su factibilidad financiera. La distribución de los costos y beneficios del proyecto entre las distintas partes interesadas es clave para su factibilidad. Se debe evaluar su efecto en las finanzas de las diversas partes interesadas, es decir, gobierno nacional, autoridades hídricas regionales, agricultores, servicios públicos municipales y otros actores principales. Se debe identificar a los beneficiados y contribuyentes para calcular los incentivos, o bien las multas a aplicar y el tipo de financiamiento que sería apropiado. Los subsidios, impuestos, cargos por agua, créditos blandos, pagos de servicios ambientales y otros instrumentos podrían todos formar parte de las propuestas financieras.

### **UN MARCO DE PLANIFICACIÓN**

El marco económico para la reutilización de aguas residuales presentados en los Capítulos 3 y 4 tiene el objetivo de ajustarse a un marco de planificación integral. Un enfoque de planificación sólido y metódico ayudará a identificar todos los factores pertinentes necesarios para la decisión de seguir adelante con un proyecto. El Capítulo 5 presenta un marco de planificación, siendo sus elementos clave: la identificación del problema y objetivos del proyecto; la definición del área de estudio e información de antecedentes; la evaluación del mercado y garantías del mercado; la identificación de las alternativas del proyecto; la evaluación y clasificación de las alternativas del proyecto; y la implementación. Entre los principales temas técnicos a abordar se encuentran: instalaciones e infraestructura; equilibrio entre la oferta y la demanda; calidad de las aguas residuales y garantías y riesgos para la salud pública.

## FACTORES ESENCIALES PARA EL ÉXITO DE LOS PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN

La viabilidad de los proyectos de reutilización depende de una serie de factores clave. Las características físicas y geográficas del área deben ser propicias para un intercambio de derechos de agua entre las partes involucradas. Los costos adicionales (de tratamiento e infraestructura) deben ser asequibles en relación con los beneficios. Los agricultores deben dar su apoyo, lo cual depende del impacto neto en sus ingresos, el estado de sus derechos de agua dulce y cuáles son sus alternativas. Las autoridades sanitarias deben estar satisfechas de que los proyectos no representen riesgos innecesarios para la salud, después de que se hayan tomado precauciones razonables. Finalmente, el impacto ambiental debe ser aceptable: el mismo impacto puede ser aceptable o no en diversas circunstancias y diferentes autoridades ponderarán de manera diferente impactos específicos para formarse un juicio global.

## UNA VERIFICACIÓN DE LA REALIDAD – ESTUDIOS DE CASO DE ESPAÑA Y MÉXICO

A nivel mundial, solo una pequeña parte de las aguas residuales tratadas se usa actualmente en agricultura, pero esta práctica está aumentando en muchos países y, en algunas regiones, una alta proporción de agua regenerada se utiliza para el riego. La variedad de los casos presentados en España y México son una buena prueba en el terreno del enfoque presentado en el Capítulo 3 acerca de la *Metodologías de los Análisis Costo-Beneficio y Costo-Eficacia*. El Capítulo 4 acerca de los resultados de los estudios de caso demuestra que la metodología presentada para evaluar los proyectos de reutilización de aguas residuales es viable. A pesar de que el esquema analítico de Análisis Costo-Beneficio puede incorporar los intereses de las municipalidades y agricultores, existe también una tercera parte importante en juego: el medio ambiente, que necesita que lo cuiden y lo defiendan. Un desafío para los analistas en esta área consiste en reflejar las necesidades del medio ambiente, valorando sus activos y servicios y asegurando que sus necesidades financieras se satisfagan. Los estudios de caso confirman que la reutilización es un área que requiere la aplicación y mejora de herramientas del análisis costo-beneficio ambiental.

El material de los casos demuestra que ciertos temas de costos y beneficios son más sólidos que otros. En cuanto a los costos, los costos de capital de las unidades de tratamiento, bombas y canales pueden estimarse con alta confianza y sus costos de operación (extracción, sustancias químicas, mano de obra, etc.) también son bastante evidentes. Es probable que la tecnología del tratamiento de aguas residuales y sus costos unitarios cambien y no se deben excluir futuras opciones de manera prematura.

La mayoría de los estudios de caso ponen énfasis en los beneficios percibidos por los agricultores gracias a los nutrientes-fertilizantes del efluente, a la no extracción de aguas subterráneas o a una mayor fiabilidad del efluente en comparación con otras fuentes de agua, en particular en climas áridos y semiáridos. Si bien los ahorros por la no extracción de aguas subterráneas son razonablemente firmes, los beneficios de la fertilización dependen de la evidencia empírica local (“con y sin proyecto”). El valor de aguas residuales fiables también necesita demostrarse de manera convincente, por ejemplo, a través de un estudio más detallado de la respuesta de los agricultores cuando el suministro de agua es errático o escaso.

Desde el punto de vista de la demanda de agua a nivel urbano, los estudios de caso reflejan una visión generalizada de que las tarifas del suministro de agua son demasiado bajas, por lo tanto existe una subestimación importante de los beneficios, debido a la creación de nuevas soluciones frente a la creciente demanda. Sin embargo, algunos de los casos muestran por un lado la importancia (destacada en el Capítulo 3) de distinguir claramente los nuevos beneficios con el proyecto y, por otro, los costos que se evitan al satisfacer la demanda existente de una manera diferente.

Las implicaciones sobre las políticas de reutilización, que se desprenden de los estudios de caso, dependen de cuáles son las motivaciones principales de la reutilización:

- *como un medio factible y costo-eficaz de satisfacer las crecientes demandas de agua para la agricultura en regiones en las que existe una creciente escasez de agua, competencia por su uso, o sequías periódicas.* Los estudios de caso evidencian (*preferencias reveladas*) que los agricultores

responden de manera positiva al uso de aguas residuales en estas situaciones, como un recurso temporal o una solución de largo plazo. Sin embargo, la reutilización es solo una entre una serie de opciones para reducir al mínimo la exposición a los riesgos hídricos. Además, no siempre se garantiza la construcción de instalaciones de distribución y almacenamiento, que son caras de construir, operar y mantener, con el fin de obtener agua para fines agrícolas de bajo valor, a menos que existan beneficios para los otros sectores.

- *como una solución ambiental frente al creciente volumen de aguas residuales vertidas y su potencial de contaminación aguas abajo.* El caso de Ciudad de México-Tula es el ejemplo más claro del beneficio mutuo entre la ciudad y los agricultores al disponer de las aguas residuales urbanas y el efluente hacia la agricultura y permitir que procesos naturales realicen parte de la purificación durante el recorrido. Los planes de reutilización permiten la dispersión del efluente y su asimilación en una amplia área, en comparación con la contaminación de fuentes localizadas provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas. La reutilización de los nutrientes del efluente en la producción de cultivos, en lugar de eliminarlos y destruirlos mediante procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales, también resulta atractivo para muchos “Verdes”. Los estudios de caso confirman estos beneficios ambientales de usar el agua regenerada.
- *como un proyecto donde todos ganan: que sea solución para la demanda de agua urbana y al mismo tiempo ofrezca los beneficios agrícolas y ambientales enumerados anteriormente.* Los casos de Llobregat y la ciudad de Durango son claros ejemplos de propuestas donde todos ganan, dado que en ambos casos es factible, desde el punto de vista físico y geográfico, que los agricultores intercambien sus derechos actuales de agua dulce por aguas regeneradas de las ciudades y que las ciudades tengan acceso a los derechos de agua dulce que son “liberados” de esta manera por los agricultores.

El hecho de que existan o no resultados beneficiosos para todos depende de barreras legales y otras barreras que superar, así como también de la negociación exitosa que se logre de los acuerdos financieros entre las partes. No se debe asumir que los agricultores estarán dispuestos a abandonar fácilmente sus derechos de agua dulce, sin considerar en detalle su situación y alternativas. La mayoría de los agricultores prefiere contar con varias fuentes de agua como garantía contra la sequía. Un enfoque costo-beneficio ayuda a establecer los parámetros para los acuerdos entre las principales partes interesadas: los agricultores, las ciudades y el entorno natural. Permite definir los intereses de las partes para avanzar hacia, o bien resistirse a, acuerdos que cambien el *status quo*. Donde el equilibrio entre los costos y beneficios para una parte (por ejemplo, los agricultores) no es muy bueno, la existencia de un gran beneficio potencial para la otra parte (por ejemplo, ciudad o medio ambiente), puede facilitar un acuerdo si se indica la compensación económica o financiera disponible para lubricar el trato.

El mensaje global que el informe pretende transmitir es que el reciclaje de las aguas residuales urbanas es un elemento clave en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) que puede cumplir objetivos diferentes, pero interrelacionados. Estos se expresan como propuestas que ofrecen beneficios simultáneos a agricultores, ciudades y sistemas ambientales naturales, y como parte de la solución a los urgentes problemas de alimentos, agua limpia, eliminación segura de desechos y protección de ecosistemas acuáticos vitales, a nivel mundial. La tradicional “sociedad lineal” no es una solución sostenible y la “sociedad del reciclaje” debe transformarse en el nuevo paradigma.

El anexo del informe contiene una extensa bibliografía, que demuestra el amplio y creciente interés entre los profesionales y responsables de políticas en este importante tema.



## Capítulo 1

# Introducción a la reutilización de las aguas residuales

### 1.1. ANTECEDENTES, CONTEXTO Y TEMAS CLAVE

La reutilización en agricultura de las aguas residuales tratadas es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua. Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. Además de estas presiones se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias.

El estrés hídrico también se produce por las aguas residuales y la escorrentía de las ciudades (gran parte de éstas aguas sólo se trata parcialmente), por los excesos de fertilizantes agrícolas y por otras causas de contaminación hídrica. Esta contaminación produce, entre otras cosas, la eutrofización de las aguas superficiales trayendo consigo la proliferación de algas. Además, la contaminación del agua empeora la escasez al reducir la cantidad de agua segura para el consumo humano. Los mismos factores provocan hipoxia (agotamiento del oxígeno) en los estuarios y aguas costeras, lo que afecta a la pesca y al resto de vida acuática e impactan de manera negativa en la integridad del ecosistema. Éste es un problema tanto para el medioambiente como para las economías locales que dependen del turismo y de la pesca.

La escasez de agua tiene altos costos económicos, sociales y políticos. Se estima que la sequía en Kenia entre el año 1998 y 2000 redujo el PIB en un 16% durante ese periodo, lo que afectó especialmente a los productos industriales, energía hidroeléctrica, agricultura y ganado. El costo de mitigar la crisis hídrica conlleva actualmente altas sumas de dinero en regiones tan diversas como California, España, norte de China y Australia.

En tiempos de escasez extrema, las autoridades nacionales suelen optar por derivar el agua de los agricultores hacia las ciudades, dado que el agua tiene mayor valor económico en el uso industrial y urbano que en la mayoría de los usos agrícolas. En estas circunstancias, el uso de agua regenerada en agricultura permite conservar agua dulce para un fin de mayor valor económico y social y, al mismo tiempo, los agricultores reciben un suministro de agua fiable y rico en nutrientes. Este intercambio también puede acarrear beneficios ambientales, al permitir la asimilación de los nutrientes de las aguas residuales por las plantas y reducir así la contaminación aguas abajo.

Los proyectos de reutilización del agua pueden ofrecer un doble o incluso triple “dividendo”, para los usuarios urbanos, agricultores y el medioambiente. En situaciones críticas de estrés hídrico, el uso de agua regenerada debe considerarse como una opción. En dicho caso, la inacción, un escenario “sin proyecto”, implicará costos que irán aumentando con el tiempo, mientras que las soluciones alternativas, como trasvases de urgencia, pueden tener grandes costos por sí solas. Rechazar la opción de la reutilización podría ser muy costoso en dichas situaciones.

### 1.2. OBJETIVO DEL INFORME

La agricultura representa alrededor del 70% del uso mundial de agua, principalmente para la producción de alimentos y fibras y para el procesamiento de productos agrícolas. Cuando las lluvias son

insuficientes para mantener los cultivos, el riego se hace necesario y aumenta el costo de las operaciones agrícolas.

La falta de recursos hídricos convencionales provenientes de acuíferos, ríos y lagos ha llevado al creciente reciclaje de las aguas residuales domésticas y municipales (ya sea tratadas o sin tratar) para el riego. El reciclaje del agua<sup>1</sup> para estos fines plantea asuntos de calidad del agua, de salud pública en general y de los trabajadores agrícolas en particular, de aceptación pública, de comerciabilidad de los cultivos y de financiación, entre otros temas. Algunos de estos asuntos también surgen también con el uso del agua dulce, mientras que otros tienen una relevancia especial o específica para el uso del agua regenerada. Existe una amplia bibliografía acerca de los aspectos económicos de los recursos hídricos, relacionada con el papel del agua en el desarrollo económico y la evaluación de alternativas para satisfacer las diversas necesidades de agua. El desarrollo del sector agrícola ha sido la fase más importante y la fase inicial en el desarrollo económico y el bienestar de muchos países y la agricultura sigue siendo clave para la seguridad alimentaria y el crecimiento en gran parte del mundo.

A pesar de que existe información acerca de los aspectos económicos de los recursos hídricos en agricultura (Gittinger, 1982; Turner *et al.*, 2004), existe una necesidad aún no satisfecha sobre temas específicos relacionados con el uso del agua regenerada. Este informe intenta suplir esa deficiencia. El reciclaje incluye aguas residuales sin tratar y tratadas. Si bien los conceptos económicos analizados en este informe son aplicables a aguas residuales sin tratar y tratadas y a muchos tipos de reutilización, el enfoque principal se centra en el uso agrícola de agua regenerada proveniente de los sistemas de alcantarillado comunitario.

Este informe aborda los temas económicos y financieros y la metodología y los procedimientos que se utilizan en el análisis de los proyectos de reciclaje de agua. El tema se aborda en el contexto más amplio de los recursos hídricos, y abarca la salud humana, calidad del agua, aceptabilidad, restricciones institucionales y otros factores que tienen implicancias económicas y afectan la viabilidad de los planes de reutilización.

Este capítulo muestra los antecedentes y el contexto de la reutilización. El Capítulo 2 presenta el material de los estudios de caso de España y México. El Capítulo 3 contiene la metodología propuesta para el análisis económico de los proyectos, junto con el procedimiento para determinar su viabilidad financiera. El Capítulo 4 aplica esta metodología al análisis de los estudios de caso. Finalmente, el Capítulo 5 propone un marco de planificación más amplio en el cual se contemplan análisis económicos y financieros. El Capítulo 6 muestra algunas conclusiones de interés para los responsables de políticas y para los profesionales que trabajan en este tema.

### 1.3. EL CONTEXTO MUNDIAL

Se estima que la Tierra contiene 1 351 millones de km<sup>3</sup> de agua. Sólo el 0,003% es agua dulce, es decir, agua apta para beber, higiene, agricultura e industria. La mayor parte del agua dulce se encuentra lejos de la civilización o en lugares de difícil acceso para ser captada para su uso. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estima que sólo de 9 000 a 14 000 km<sup>3</sup> se encuentran económicamente disponibles para el uso humano cada año (FAOWATER, 2008).

La población mundial está creciendo a una tasa de aproximadamente 1,2% al año y se espera que aumente a 9 000 millones en el año 2030. Proporcionar agua adecuada a estas personas será un gran desafío. El agua no sólo es esencial para el consumo humano directo y para los hogares, sino además para producir alimentos y productos manufacturados necesarios para vivir y mejorar los estándares de vida. Las necesidades de agua se pueden dividir en las siguientes categorías:

<sup>1</sup> En este informe, las aguas residuales tratadas con un nivel que permite su reutilización (normalmente terciaria) se denominan *aguas regeneradas*. De lo contrario, se denominan *aguas residuales*, que incluyen aguas de alcantarillado sin tratar y aguas residuales tratadas en un menor grado. Las *aguas recicladas* incluyen tanto agua regenerada como aguas residuales según lo descrito anteriormente. Ver el Glosario para éstas y otras definiciones.

- agua potable
- agricultura y ganadería
- higiene y sanidad pública
- usos domésticos (preparación de alimentos, limpieza, usos al aire libre)
- comercio y servicios
- industria
- actividades recreativas y turismo
- pesca comercial y acuicultura y
- mantenimiento ecológico y conservación y protección del medioambiente.

Muchos países tienen dificultades para satisfacer las necesidades actuales de agua para beber, producir y para saneamiento. El problema se ve acentuado por unos mayores estándares de vida que aumentan el uso de agua per cápita.

La conversión de la agricultura de secano a regadío puede aumentar el rendimiento de la mayoría de los cultivos entre un 100 a un 400% y permite cultivar distintos cultivos con un mayor valor económico. Las especies de climas húmedos pueden cultivarse en áreas áridas. Dejar la agricultura de secano muchas veces significa que el agua debe encontrarse disponible en momentos y lugares no naturales, lo cual exige infraestructura, energía y mano de obra. Incluso depender de las aguas subterráneas directamente bajo las explotaciones agrícolas se está convirtiendo en un problema por la disminución de los niveles freáticos. Dado que el riego va dejando sales en el suelo, es posible que sea necesario aumentar la cantidad de agua aplicada para lavar el exceso de sales del suelo y contrarrestar la salinización, aunque en muchos lugares las aguas de lluvias pueden desempeñar esta función. El requerimiento diario de agua potable es de 2 a 4 litros por persona, mientras que la producción de alimentos para satisfacer los requerimientos diarios necesita entre 2 000 a 5 000 litros de agua per cápita. Como resultado, la agricultura sin duda es el mayor usuario de agua, dado que representa casi el 70% de todas las extracciones, hasta un 95% en los países en desarrollo, con una demanda que va en aumento (FAOWATER, 2008).

La mejora de los estilos de vida también resulta en una mayor demanda de agua, por ejemplo mediante:

- sistemas de alcantarillado comunitario y baños que utilizan agua para el transporte y eliminación de los desechos humanos;
- electrodomésticos como lavadoras de platos y trituradores de basura;
- aparatos domésticos para el agua caliente que aumentan el uso de agua para el baño;
- jardines y parques residenciales;
- actividades recreativas, como campos de golf y parques acuáticos;
- espacios verdes urbanos para usos recreativos;
- el aumento del consumo de productos elaborados;
- cambios en la dieta que implican un mayor consumo de alimentos con mayor requerimiento de agua y
- turismo y actividades recreativas que aumentan con los ingresos.

Satisfacer estas demandas de agua con frecuencia ha implicado un mayor costo ambiental. Un ejemplo conocido es el Mar de Aral, que ha perdido un 85% de sus aportaciones hídricas debido a la producción de algodón de regadío. La caída del nivel freático en 16 metros entre 1981 y 1990 ha llevado a la desaparición de 20 de sus 24 especies de peces, la pérdida de casi toda la pesca y la formación de sales tóxicas provenientes del lecho marino que ha destruido cultivos de las tierras agrícolas cercanas (FAOWATER, 2008). Este trágico episodio muestra al ambiente natural como usuario legítimo de agua.

### **Escasez, déficit y competencia**

Es probable que el cambio climático agrave la escasez de agua. Un calentamiento global de 2° podría llevar a una situación en que “entre 100 y 400 millones más de personas podrían estar en peligro de

padecer hambre y entre una a dos mil millones de personas ya no tendrán agua para satisfacer sus necesidades de su consumo, higiene y alimentos” (Banco Mundial, 2009).

El impacto que ha tenido la sequía de *La Niña* en el PIB de Kenia entre los años 1998 y 2000 muestra el alto costo económico de la escasez de agua. En general, este hecho redujo el PIB en un 16% durante este periodo y las disminuciones fueron especialmente graves en la producción industrial (58%), hidroeléctrica (26%), agricultura (10%) y ganado (6%) (Banco Mundial, 2004).

Existen muchas otras estimaciones parciales de los altos costos de la escasez de agua (Orr, 2009):

- Se estima que el costo del manejo de la crisis hídrica en California será de 1 600 millones de dólares anualmente en el año 2020.
- Se espera que el reacondicionamiento de emergencia del régimen de suministro de agua de Australia, producto de la sequía de 2007, luego de un largo periodo de desequilibrio entre la oferta y la demanda, tenga un costo de 10 000 millones de dólares.
- En China, el sistema de canalización de miles de millones de m<sup>3</sup> de agua desde el río Yangtze hacia los agricultores de la cuenca del cada vez menos caudaloso río Amarillo, implica enormes gastos que aún no han sido estimados en su totalidad.
- El proyecto libio Gran Río Artificial que consiste en extraer 730 millones de m<sup>3</sup> anualmente desde el otro lado del desierto del Sahara hacia los usuarios de agua de la costa implica 25 000 millones de dólares cada año.

El medio ambiente, un silencioso usuario de agua, está cargando con gran parte del déficit hídrico, que acabará por afectar de algún modo al suministro de agua para las necesidades humanas. En la cuenca australiana de Murray-Darling, se necesita el 30% del caudal normal del río para fines ambientales, sin embargo los cultivos de regadío utilizan el 80% del agua disponible. En los últimos tiempos, muy poca agua proveniente del río Murray-Darling ha llegado al mar. En China, se necesita el 25% del caudal del río Amarillo para mantener el medioambiente, pero menos del 10% se encuentra realmente disponible tras las extracciones para consumo humano. En 1997, durante 226 días, el río se secó 600 km tierra adentro (Foro del Banco Mundial, 2009).

Se han creado una serie de indicadores para medir la escasez relativa de agua (Kumar y Singh, 2005; Falkenmark y Widstrand, 1992). En la Tabla 1.1, se muestra un resumen de dos de los índices más comunes. El Índice de Escasez de Agua, basado en la disponibilidad per cápita de agua dulce renovable (superficial y subterránea), representa el potencial de agua que puede usar una persona sin considerar la infraestructura hídrica o el uso económico. El Índice de Intensidad de Uso del Agua expresa la cantidad de extracción de agua superficial y subterránea como porcentaje de los recursos hídricos

TABLA 1.1

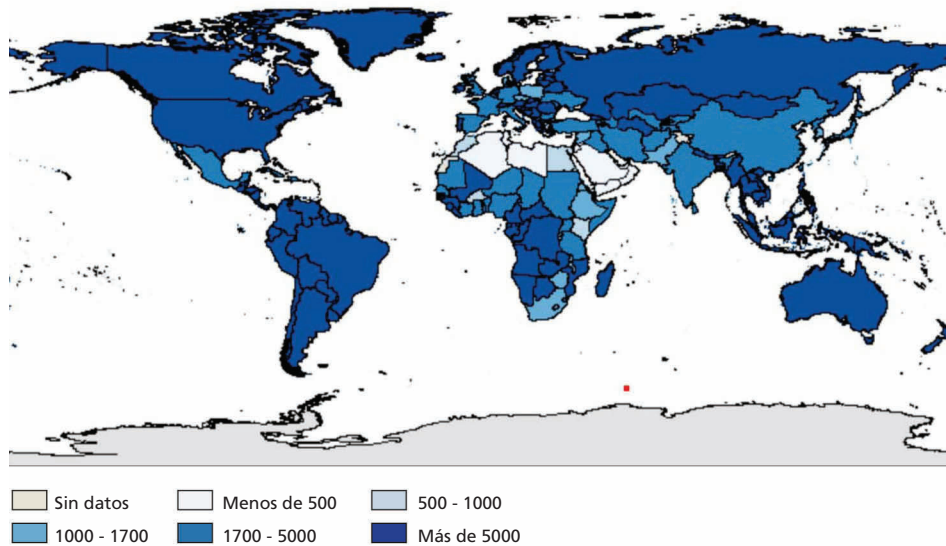
Valores mínimos que se utilizan para caracterizar el déficit hídrico dentro de una región

Característica	Límite	Situación
<b>Índice de Escasez de Agua, m<sup>3</sup>/cápita/año</b>		
Déficit hídrico	<1 700	La región comienza a experimentar déficit hídrico y la economía o la salud humana se pueden ver perjudicadas
Escasez crónica de agua	<1 000	La región experimenta frecuentes problemas de suministro de agua, tanto a corto plazo como a largo plazo
Déficit hídrico absoluto	<500	La región completa su suministro de agua a través de la desalinización del agua, sobreexplotando los acuíferos o realizando una reutilización no planificada del agua
Nivel mínimo de supervivencia	<100	El suministro de agua para usos domésticos y comerciales se ve comprometido, dado que la total disponibilidad no es suficiente para satisfacer la demanda para todos los usos (municipal, agrícola e industrial)
<b>Índice de Intensidad de Uso del Agua</b>		
Déficit hídrico	>20%	La región experimenta graves problemas de suministro de agua que son abordados mediante la reutilización de aguas residuales (planificada o no), sobreexplotación de acuíferos (entre 2 a 30 veces) o desalinización del agua de mar

Fuente: Adaptado de Jiménez y Asano (2008b).

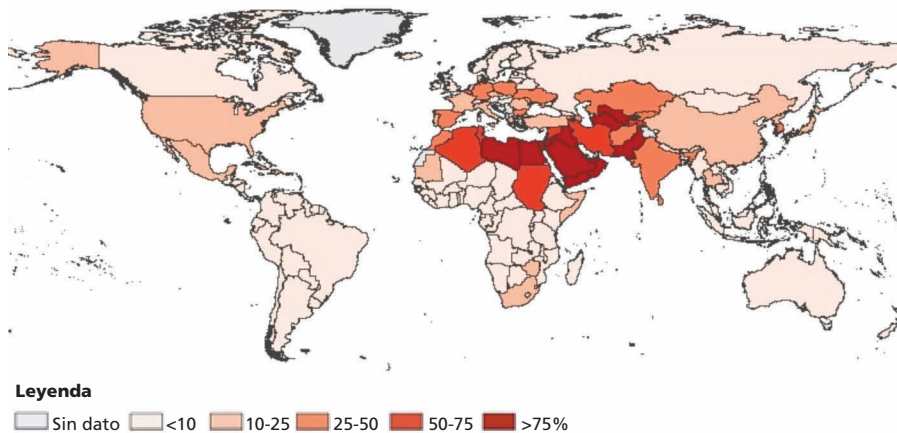
renovables internos que se encuentran disponibles para una región. La distribución de estos índices por país se muestra en las Figuras 1.1 y 1.2. Desde 1995, cerca del 41% de la población mundial, es decir 2 300 millones de personas, vivían en cuentas hidrográficas con un déficit hídrico (es decir, que tienen un Índice de Escasez de Agua menor a 1700 m<sup>3</sup> per cápita al año) (EarthTrends, 2001).

FIGURA 1.1  
Recursos renovables reales de agua y aguas subterráneas por habitante en el año 2005 (m<sup>3</sup>/año)



Fuente: FAO (2008).

FIGURA 1.2.  
Índice de Intensidad de Uso del Agua por país (alrededor de 2001)



Fuente: FAO (2008).



Incluso entre los países que aparentemente cuentan con abundancia de agua, existen regiones de escasez o regiones sin infraestructura para acceder a los recursos hídricos disponibles. Las áreas donde se alcanzan o exceden los límites sostenibles de extracción de agua, esto es 75% o más de los recursos hídricos renovables, se describen como *áreas de escasez física de agua*. Por otro lado, la *escasez económica de agua* puede producirse cuando los recursos hídricos son abundantes, pero las deficiencias del capital humano, institucional o financiero limitan el acceso a ella.

Cuando la demanda de agua se acerca a los límites de los recursos disponibles, o bien a la capacidad límite de los sistemas de suministro de agua, se puede producir competencia entre los distintos usos del agua. Las áreas urbanas e industrializadas tienen, con frecuencia, una mayor capacidad económica o poder político para crear infraestructuras y desarrollar nuevos suministros de agua o reasignar suministros existentes desde las áreas agrícolas a las urbanas. En la competencia por el agua, las necesidades humanas con frecuencia prevalecen sobre las necesidades de los ecosistemas. Algunas consideraciones relacionados con los sectores que utilizan agua se resumen en la Tabla 1.2.

La competencia por recursos hídricos con frecuencia se produce a expensas de la agricultura y de las economías tradicionales que dependen de ella. Tradicionalmente, el agua ha sido considerada

TABLA 1.2

**Consideraciones sobre los sectores en competencia por los recursos hídricos en diferentes ubicaciones**

Ubicación	Sector	Consideraciones
Zonas áridas o semiáridas	Agricultura	Es necesario el riego para mantener la agricultura; frecuente sobre explotación o extracción ilegal de agua, especialmente para agricultura que genera altos ingresos
	Industria	Ventaja económica sobre la agricultura para comprar el agua necesaria
	Urbano/doméstico	Mala calidad y escasez de agua especialmente en las partes bajas de las cuencas
Áreas industriales	Agricultura	Tiende a ser marginal debido a que los trabajos industriales están mejor pagados y la agricultura con frecuencia es una ocupación secundaria, aunque con excepciones, como por ejemplo cuando la industria de agroalimentos es importante
	Industria	Tiene prioridad económica o política para obtener el agua que necesita
	Urbano/doméstico	Generalmente con un crecimiento exponencial, dado que los puestos de trabajo se congregan en torno a la industria; tiene más influencia económica o política sobre los recursos hídricos existentes
Costa	Agricultura en climas cálidos	Vulnerable, menos protegida; no compite en cuanto a mano de obra y agua
	Actividades de esparcimiento/turismo en climas cálidos	Uso creciente de agua para personas y actividades (por ej., golf o parques de agua)
	Industria	Crecimiento en áreas de infraestructura de transporte de bienes (puertos, autopistas, ferrocarriles)
Pequeñas islas en climas áridos y semiáridos (por ej., mediterráneas)	Agricultura	No compite con el turismo en cuanto a la mano de obra o agua
	Actividades recreativas/turismo	Actividad de altos ingresos, económicamente dominante en cuanto a trabajo, agua y tierras
Cuencas hidrográficas	Ecosistemas	Dañados cuando no hay una protección reglamentaria, debido a la reducción de caudal por las actividades humanas
	Zonas urbanas	Ventaja económica y política para obtener el agua necesaria (incluso sobreexplotando el agua de una manera no sostenible)
	Agricultura/ganado	Fuente de contaminación del agua
	Industria	Demandas de agua que generalmente no son de consumo, alteración de la temperatura producto de las descargas de las plantas de generación eléctrica; fuente de contaminantes orgánicos persistentes
Regiones con predominio de aguas subterráneas	Todos los sectores	Frecuente sobreexplotación de las aguas subterráneas, intrusión del agua de mar y contaminación
	Agricultura	Permeabilidad reducida del suelo
	Zonas urbanas	Recarga natural reducida debido a las superficies impermeables

Fuente: Recopilación de los autores

un bien común y público. Sin controles gubernamentales, sin embargo, se puede abusar de este bien público y dejar sin acceso al agua a los sectores con menos poder político y económico. Los usuarios aguas arriba pueden disminuir o contaminar el agua que llega a los usuarios aguas abajo.

Además de las inequidades sociales, se pueden producir conflictos civiles e incluso físicos por la competencia por el agua. En aquellos lugares en que no existe un marco legal establecido, o en los cuales se viola este marco, pueden producirse conflictos entre regiones o incluso entre países en que una entidad extrae agua en detrimento de otra (Trondalen, 2004; McCann, 2005; Tamas, 2003). Algunos sistemas legales establecen prioridades en cuanto a los derechos de uso del agua, con frecuencia otorgan una prioridad mayor al uso doméstico y urbano que el uso industrial o agrícola. De esta manera, puede ser legal para un sector privar al otro sector de su tradicional suministro de agua. Es común, por ejemplo, que existan usos municipales y agrícolas en detrimento de la conservación y preservación de los sistemas naturales (arroyos, humedales, aguas subterráneas y ecosistemas asociados).

La relación entre los recursos hídricos disponibles y su utilización se puede establecer mediante el índice de escasez de agua (Smakhtin *et al.*, 2004; Kumar y Singh, 2005). Cuando este índice señala una posible escasez de agua, es necesario que el país en cuestión tome las medidas para aliviar la situación, lo que implica gestionar la demanda y/o aumentar la oferta. Para aumentar la oferta, los recursos a desarrollar podrían ser convencionales (aguas superficiales o subterráneas) o no convencionales. Muchas veces, desarrollar nuevos recursos convencionales no es factible por los altos costos, o bien enfrenta la oposición de los conservacionistas u otras personas que prefieren el *status quo*. Por otro lado, algunos recursos no convencionales son cuestionables en términos de sostenibilidad (por ejemplo, la desalinización, con la tecnología y prácticas actuales, puede tener problemas para la eliminación de la salmuera y para cubrir los altos costos de energía). Problemas como éstos aumentan el atractivo del agua regenerada, aunque la regeneración y re-uso tiene sus propios problemas. Los ambientalistas están preocupados de que la reutilización en la parte superior de las cuencas pueda reducir la disponibilidad de agua para los ecosistemas que se encuentran aguas abajo. También existen riesgos para la salud pública por el uso de agua regenerada y su uso prolongado podría tener un efecto sobre la salinidad del suelo, dependiendo del nivel de tratamiento, aunque también puede mejorar la fertilidad de éste y el contenido de materia orgánica. Sin embargo, existen maneras de mitigar cualquier efecto negativo en la agricultura, por ejemplo, utilizando una buena calidad de agua en el período inicial de crecimiento de los cultivos y una calidad inferior posteriormente. Esta práctica puede incluso aumentar la calidad de ciertos frutos (Oron, 1987; Hamdy, 2004).

Las comunidades que dependen directamente de las precipitaciones y los cursos de agua superficiales están a merced de la disponibilidad de estas aguas en el tiempo y en el espacio. También son susceptibles a las inundaciones y las sequías. Las aguas subterráneas se ven menos afectadas por las condiciones climáticas en el corto plazo, pero son vulnerables a la sobreexplotación en el largo plazo, lo cual aumenta los costos de extracción, aumenta la salinización a causa de la intrusión marina y del aumento del tiempo de contacto con los minerales, y genera subsidencia del terreno.

El aumento de la urbanización y de la agricultura de regadío debilita el nexo entre los recursos hídricos disponibles naturalmente y el momento y el lugar en el que se dan las demandas. Esto ha requerido la construcción de canales o tuberías, para transportar el agua, y de presas, para almacenar el agua de los ríos y utilizarla cuando se produzca la demanda. En los países en desarrollo, los costos de dicha infraestructura pueden ser prohibitivos. En los países desarrollados, ya se ha llevado a cabo la instalación de presas y otros proyectos de desarrollo hidráulico en los lugares más costo-eficaces. Un desarrollo adicional de estos proyectos no sólo es de un mayor costo marginal, sino que además compite con las necesidades de protección ambiental relacionadas con la calidad del agua, la pesca y los humedales. En algunos casos, se han limitado las extracciones históricas de aguas subterráneas y superficiales para evitar un daño adicional al medioambiente y restablecer la producción sostenible de aguas subterráneas.

En la medida en que el desarrollo de recursos hídricos superficiales y subterráneos convencionales se ha encarecido y se ha visto dificultado, se ha ido prestando una mayor atención al uso de recursos no convencionales o a la gestión de la demanda. Una de esas fuentes, la desalinización del agua de mar, sigue siendo una opción relativamente cara para la agricultura de regadío, a pesar del progreso en la tecnología de membranas. Lograr un uso más eficiente del agua entre los usuarios urbanos y agrícolas a través de diversas formas de *gestión de la demanda* tiene un gran potencial y sigue siendo una de las alternativas de menor costo para alinear la oferta y la demanda. El uso de mejores tecnologías para reducir las filtraciones en las redes de distribución de agua urbanas y el riego localizado también pueden mejorar el Índice de Intensidad de Uso del Agua.

La caracterización del uso del agua regenerada como “no convencional” no quiere decir que las aguas residuales sean poco comunes o que no se ha demostrado que sean una fuente de suministro de agua efectiva. Las aguas residuales domésticas han sido utilizadas durante siglos en la agricultura y el uso de las aguas residuales *tratadas* tiene al menos un siglo de antigüedad. Su estatus no convencional refleja el hecho de que sólo en los últimos 30 años el uso de agua regenerada ha tenido importancia en la planificación de los recursos hídricos. Con un tratamiento adecuado, las aguas residuales son aptas para muchos usos urbanos, industriales y agrícolas. Aunque aún no ha sido aprobada en muchos países, el agua regenerada se utiliza como agua potable en algunos lugares, como es el caso de Namibia (Lahnsteiner y Lempert, 2007).

#### 1.4. RAZONES PARA REUTILIZAR AGUAS RESIDUALES

La reutilización de las aguas residuales es una opción importante en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que trata todos los aspectos del ciclo hídrico y optimiza el uso del agua en todas sus formas. La Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible del año 2002 llamó a los países a desarrollar la GIRH y planes de eficiencia hídrica. Este enfoque incluye, entre otros, los siguientes elementos:

- (1) evaluar las necesidades hídricas en colaboración con los usuarios finales;
- (2) examinar todas las fuentes de agua disponibles y
- (3) ajustar los suministros de agua a las necesidades en base a la cantidad, calidad y fiabilidad requerida para los diversos fines y a los costos del suministro en relación con los beneficios en cada caso.

La regeneración de las aguas residuales y su reutilización en la agricultura está teniendo una amplia aceptación en muchas partes del mundo. En muchos países con escasez de agua, las aguas residuales son importantes para equilibrar la demanda y la oferta de agua para diversos usos. Los impulsores de la reutilización de aguas son distintos en los países desarrollados y en los países en desarrollo, pero existen problemas comunes como el aumento de la población y la demanda de alimentos, escasez de agua y preocupación acerca de la contaminación ambiental. Todas estos factores hacen que el agua regenerada sea un recurso potencialmente valioso.

Sin embargo, la reutilización de agua conlleva cambios en las estructuras tradicionales de asignación de recursos hídricos, financiamiento de estructuras, consideración de estándares de calidad del agua, marcos reglamentarios y mandatos institucionales. Implica una buena gestión a todos los niveles, con el fin de desarrollar un enfoque holístico y políticas consistentes para la asignación de recursos hídricos que satisfagan las múltiples necesidades de los usuarios.

#### Valores económicos del agua en diferentes usos

Un aspecto fundamental en la reutilización es aceptar que el agua es un *bien económico*, como se reconoce en la Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible de 1992: “El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos a los que se destina y debería reconocerse como un bien económico”. Es necesario hacer una distinción entre el *valor*, *costo* y *precio* del agua, los cuales con frecuencia son muy distintos unos de otros. El *valor* económico del agua es particularmente evidente en las situaciones de escasez de agua. El agua tiene diferentes valores económicos en sus diferentes usos. Por otra parte, tiene un *costo* económico de suministro, que también varía en diferentes situaciones

y para diversos fines. El agua entregada a un usuario particular, en un lugar específico, en cierto momento tiene un beneficio económico, pero también conlleva un costo económico. La relación entre el beneficio específico y el costo específico es la base de la justificación *económica* para abastecer a ese usuario. Finalmente, el *precio* del agua es una transacción financiera o fiscal entre el proveedor y el usuario, la cual generalmente está controlada atentamente por las autoridades públicas y a veces tiene poca relación con su valor en usos específicos o con su costo de suministro.

La asignación de agua solamente sobre la base de dichos principios económicos es complicada y difícil de aplicar en la práctica (Turner, 2004; Winpenny, 1997). Sin embargo, el concepto básico de comparar los costos y beneficios de suministrar agua en lugares específicos a categorías específicas de usuarios es fundamental para los proyectos de reutilización de aguas residuales y requiere algún tipo de estimación, aunque sea aproximada, de los beneficios del agua para los potenciales usuarios.

Los métodos de valoración del agua son eclécticos y dependen del sector en cuestión, el tipo de uso y la información disponible.

- El consumo *doméstico* comúnmente se valora utilizando la Disposición a Pagar (DAP), a través de encuestas directas, usando cuestionarios o diversas clases de “experimentos de elección”. Este enfoque de “valor declarado” puede complementarse y verificarse a través del método de “preferencias reveladas” que consistiría en inferir las preferencias de los usuarios a partir de sus cambios en el consumo después de un cambio de tarifa, o estimando lo que están realmente gastando en el presente.
- El uso de aguas *de regadío* puede valorarse de dos maneras diferentes. La productividad marginal del agua (el valor extra de la producción que puede obtenerse de aplicaciones adicionales de agua) puede estimarse a partir de los cambios en el rendimiento durante pruebas con diferentes dosis de riego. De manera alternativa, el enfoque más común (el método “net-back”) consiste en derivar el valor del agua como el valor residual de los datos presupuestarios de la finca, después que todos los costos han sido considerados. El método anterior asume que todo el superávit residual, o sin explicar, de la finca se debe al agua, en lugar de otros factores.
- La valoración del uso *industrial* del agua plantea un problema mayor. Para la mayoría de las empresas industriales (y comerciales), el agua es una parte ínfima de sus costos totales. Por lo tanto, sería erróneo utilizar el “método residual” como en el regadío y atribuir todo el superávit residual al agua. Gran parte del agua industrial es auto-suministrada a través de pozos y ríos. Muchas empresas reciclan el agua tratando y reutilizando flujos residuales. Un método de evaluación consiste en considerar el costo de reciclaje como límite superior de la disposición a pagar industrial, dado que sobre ese nivel las empresas reciclarían racionalmente en lugar de comprar. Un método abreviado y aproximado para la valoración del agua industrial consiste en estimar ratios de producción bruta o valor añadido por volumen de agua usada en diferentes procesos. Mientras estos ratios pueden señalar la intensidad hídrica de diferentes sectores industriales, no indican la productividad real del agua.
- Todos los usos anteriores implican la captación de agua. Sin embargo, el agua también tiene valor en su estado natural (in situ) por su papel en la asimilación y dilución de desechos, lavado de sedimentos, funcionamiento de sistemas ecológicos, navegación y otros tipos de actividades recreativas (pesca, deportes náuticos, turismo, excursiones, etc.) Existen diversas opciones de valoración. Con frecuencia, estas funciones naturales del agua (asimilación, dilución, lavado) se pueden comparar con el costo adicional de las alternativas (dragado, tratamiento). El valor del agua para la navegación puede obtenerse de la diferencia de costo con el siguiente modo de transporte más barato (por ej., el tren). El valor del agua para fines recreativos y ecológicos (el mantenimiento de regímenes de bajo caudal y humedales) generalmente se estima mediante la DAP o encuestas de costos de viaje<sup>2</sup>. Cada vez es más común utilizar el enfoque de transferen-

<sup>2</sup> El método de valoración del costo del viaje infiere la valoración que los visitantes asignan a un servicio sin costo a partir de la cantidad de tiempo y gasto en que incurren para llegar al lugar.

cia de beneficios para derivar valores empíricos de estos efectos ambientales. Como el término lo sugiere, se transfieren valores estimados en un lugar a otros lugares y proyectos que parecen ser ampliamente comparables<sup>3</sup>.

- El uso del agua para fines hidroeléctricos normalmente se valora de acuerdo con la ventaja de costos de la energía hidroeléctrica sobre la energía térmica y otras maneras alternativas para generar electricidad. En éste, como en los otros casos, es importante comparar elementos semejantes y ser claros acerca de la base de la estimación<sup>4</sup>.

Existen estudios muy completos sobre los valores económicos del agua para diferentes usos. Uno de los primeros fue realizado por la Comisión Nacional del Agua de los Estados Unidos en el año 1972, en 1986 se publicó otro bajo el alero de “Resources for the Future” y otro, también para “Resources for the Future”, en 1997. Todos utilizan datos provenientes de EE.UU. También hay estudios más parciales provenientes de otras regiones que comparten y validan los resultados de los estudios integrales. La tabla 1.3 indica los resultados de un estudio comparativo.

Los sectores de mayor importancia para este informe son la agricultura, los hogares, el riego y el medioambiente. Los datos que aquí se presentan evidencian lo bajo del valor del agua para el *riego* de muchos cultivos de bajo valor (generalmente cereales-grano y forraje para animales). Del mismo modo, los valores del agua pueden ser mayores para los cultivos de mayor valor (por ej., frutas, hortalizas, flores) donde el suministro de agua es fiable, al igual que el riego complementario que se usa como seguro contra la sequía. Estos resultados quedan respaldados por los precios reales pagados por el agua allí donde existen mercados de agua. En síntesis, el valor asignado al agua de regadío depende mucho de cuán fiable es el suministro y del tipo de cultivo que se está produciendo. Los valores tienden a ser mayores para las aguas subterráneas de propiedad privada que para los sistemas de agua superficial de gestión pública.

Los valores del agua en los *hogares* son relativamente altos, pero ésta no es una categoría homogénea. El agua utilizada para necesidades realmente esenciales como beber, cocinar e higiene básica supone una parte ínfima del uso diario típico. El resto se utiliza para fines productivos o relacionados con el “estilo de vida”. En las regiones prósperas de clima cálido, una alta proporción del agua se utiliza para fines recreativos al aire libre, tales como riego de jardines y piscinas. Los hogares tienden a asignar un mayor valor al agua usada en interiores que al aire libre, aunque esto no se aplicaría cuando el agua se utiliza para fines productivos. En algunas sociedades, gran parte del agua entregada a los hogares se utiliza para cultivos y alimentación de ganado (en otras palabras, se suministra para fines de *uso múltiple*).

En la práctica, la valoración del agua para el uso doméstico generalmente se considera equivalente a la tarifa promedio, la cual por lo general subestima su costo económico de suministro e ignora el *superávit del consumidor*<sup>5</sup>. Por lo general, éste es el enfoque utilizado en los estudios de casos presentados en este informe.

El valor del agua en sus *usos ambientales* no está representado de manera adecuada en los estudios descritos anteriormente, los cuales tratan principalmente los *valores de uso*, especialmente del uso recreativo. De hecho, los valores recreacionales muestran una gran variación, dependiendo de la tasa de visita, ubicación del lugar, calidad del agua y tipo de actividad recreativa (con licencias de caza y pesca de alto valor en algunos países). Los diversos métodos de valoración de los beneficios ambientales *no*

<sup>3</sup> Existe una base de datos con dichos estudios ([www.evri.ca](http://www.evri.ca)) y se efectúa una revisión de una serie de resultados en van Beukering *et al* (1998) y Turner *et.al.* 2004.

<sup>4</sup> Si se escoge un enfoque de *corto plazo*, se asume que la capacidad está fija para comparar ambas alternativas. En *el largo plazo*, se pueden hacer nuevas inversiones en ambos casos. Los costos marginales y promedio también diferirán, para ambas alternativas.

<sup>5</sup> La diferencia entre lo que los consumidores están *dispuestos a pagar*, y lo que realmente tienen que pagar.

relacionados con el uso del agua se describen en el Capítulo 3<sup>6</sup>. En algunos casos, el valor ambiental del agua se expresa a través de las ciudades y regiones que compran derechos de agua suficientes para satisfacer sus necesidades ambientales.

El análisis de los valores económicos mostrado anteriormente se ha realizado en el contexto de sectores, proyectos o usos específicos. Sin embargo, también existen ejercicios para estimar el valor del agua a un nivel macroeconómico. Uno de ellos es el Sistema de Contabilidad Económica y Ambiental del Agua (SCEA-Agua) desarrollado por la División de Estadística de las Naciones Unidas (ONU, 2008).

El SCEA-Agua ofrece un marco conceptual para organizar la información hidrológica y económica de una manera coherente y consistente. Se basa en el manual de *Contabilidad Ambiental y Económica Integrada, de 2003*, de las Naciones Unidas, que describe la interacción entre la economía y el medioambiente. Tanto este documento como SCEA-Agua utilizan la estructura básica del Sistema de Cuentas Nacionales de 1993, que es el estándar internacional. Cuando el SCEA-Agua esté completamente desarrollado, permitirá un análisis coherente de la contribución del agua a la economía y del impacto de la economía sobre los recursos hídricos. Dado que abarca todas las interacciones importantes ambientales-económicas, es ideal para captar temas transversales como la GIRH, así como una gama de otras funciones importantes.

La contribución al producto económico de los recursos naturales (como las tierras cultivables, bosques, pastizales y minerales) ya se ve reflejada en las cuentas nacionales. Las estimaciones se han hecho en base al valor de dichos activos como capital natural<sup>7</sup>. Estos activos favorecen un flujo futuro de ingresos/beneficios y constituyen una forma importante de riqueza para los países ricos. Por el contrario, cuando se han agotado (a través de la explotación, deforestación, sobrepastoreo, etc.) representa una pérdida de capital y riqueza que reducirá el ingreso futuro proveniente de esas fuentes. El agua es parte del capital natural: utilizada de manera sostenible (hasta su límite renovable), representa una recompensa recurrente para los ingresos nacionales, pero si se sobreexplotan los acuíferos o aguas superficiales, o si las reservas son contaminadas, se agota este capital, y se reducirá el ingreso nacional futuro.

## 1.5. REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA PRÁCTICA

### El alcance mundial de la reutilización de las aguas residuales

Actualmente existen más de 3 300 instalaciones de regeneración de agua nivel mundial con diversos grados de tratamiento y para diversas aplicaciones: riego agrícola, diseño urbano y usos recreativos, procesamiento y refrigeración industrial y producción indirecta de agua potable, como recarga de las aguas subterráneas (Aquarec, 2006). La mayoría de éstas se encuentra en Japón (cerca de 1800) y los Estados Unidos (cerca de 800), pero Australia y la Unión Europea contaban con 450 y 230 proyectos respectivamente. La zona mediterránea y el Medio Oriente tenían alrededor de 100 plantas, América Latina 50 y el África subsahariana 20. Estas cifras están aumentando rápidamente<sup>8</sup>.

La Figura 1.3 muestra el número de sistemas de reutilización de agua municipal en las diferentes regiones del mundo, según el uso que se le da al agua reutilizada. Los usos se han organizado en cuatro categorías principales: agrícola, urbano, industrial y mixto (multipropósito).

Se estima que dentro de los próximos 50 años, más del 40% de la población mundial vivirá en países que enfrenten un déficit hídrico o escasez de agua. La creciente competencia entre los usos agrícolas y urbanos por el agua dulce de alta calidad, especialmente en las regiones áridas y semiáridas

<sup>6</sup> Y de manera más completa en Turner (2004).

<sup>7</sup> Este ejercicio en particular del Banco Mundial no incluye el agua como uno de los tipos de capital natural.

<sup>8</sup> La publicación mensual *Global Water Intelligence* contiene un “Reuse Tracker” (rastreador de reutilización) con datos acerca de todos los nuevos proyectos de reutilización. Por otra parte AQUASTAT (<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/indexsp.stm>) contiene información nacional más actualizada para muchos países.

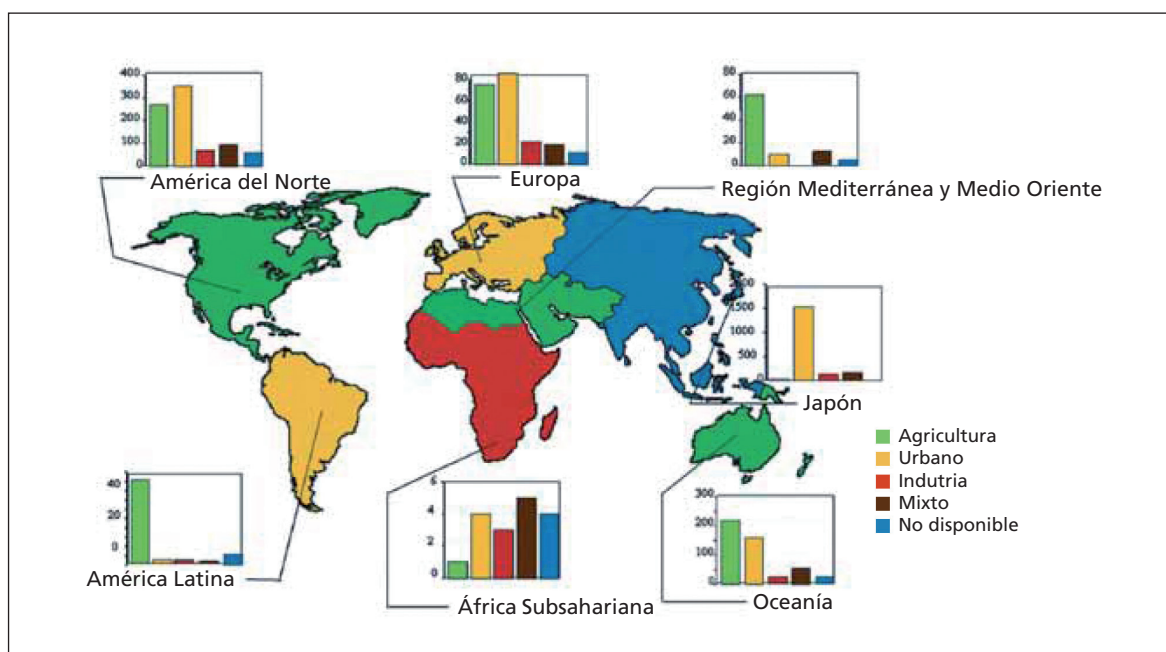


TABLA 1.3  
Valores del uso del agua en los EE.UU. por sector  
USD de 1994, Acre-pie de agua

Sector/uso	promedio	mínimo	máximo
<b>In situ</b>			
Eliminación de desechos	3	0	12
Recreacional/habitat	48	0	2 642
Navegación	146	0	483
Energía hidroeléctrica	25	1	113
<b>Extracción</b>			
Riego	75	0	1 228
Industrial	282	28	802
Energía térmica	34	9	63
Doméstica	194	37	37

Fuente: citado en Turner *et al.* 2004

FIGURA 1.3  
Sistemas de reutilización de aguas municipales, por campo de aplicación (AQUAREC, 2006)



y densamente pobladas, aumentará la presión sobre este recurso cada vez más escaso. Las aguas residuales pueden ser una fuente de agua más fiable (disponible todo el año) que otras fuentes con las que cuentan los agricultores, aunque esto depende de que las fuentes primarias de aguas urbanas también sean fiables. El valor del agua regenerada ha sido reconocido ampliamente por los agricultores, no sólo como recurso hídrico, sino además por los nutrientes-fertilizantes que contiene, que favorecen el crecimiento de las plantas y mejoran las propiedades de los suelos. Actualmente, el total de la tierra regada con aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas se estima en 20 millones de hectáreas en 50 países, lo que representa aproximadamente un 10% del total de las tierras de regadío. El reciclaje y la reutilización de las aguas residuales puede disminuir la presión sobre los recursos hídricos, a causa

de la extracción de aguas superficiales o acuíferos, siempre y cuando su impacto sobre los caudales aguas abajo sea manejable (Cuadro 1.1.)

CUADRO 1.1  
**Tratamiento integrado de aguas residuales y reutilización en Túnez**

Túnez tiene una alta cobertura de saneamiento, con un 96% en las áreas urbanas, 65% en las áreas rurales y un 87% en total. Las industrias tienen que cumplir con las normas nacionales para el vertido de sus aguas residuales en el alcantarillado público, para ello hacen falta procesos de pre-tratamiento que están subvencionados. Se trata un 78% de las aguas residuales colectadas, principalmente con tratamientos biológicos secundarios.

Entre el 30-43% de las aguas residuales tratadas se utiliza para el riego agrícola y de jardines. Las aguas regeneradas se utilizan en 8 100 ha para regar cultivos industriales y forrajeros, cereales, viñedos, cítricos y otros árboles frutales. Las reglamentaciones permiten el uso de efluentes tratados en forma secundaria en todos los cultivos, excepto las hortalizas, ya sea para consumo en crudo o cocidas. Los campos de golf también son regados con efluentes tratados. Túnez lanzó su programa de reutilización de aguas a nivel nacional en la década de los ochenta. La necesidad de tratamiento y reutilización se combinan y se consideran en la etapa de planificación. Se han lanzado algunos proyectos experimentales o que están bajo estudio para uso en industrias y recarga de acuíferos, riego de bosques y autopistas y creación de humedales. Se espera que el volumen anual de agua regenerada llegue a los 290 hm<sup>3</sup> en el año 2020, cuando sea equivalente al 18% de los recursos de aguas subterráneas y pueda utilizarse para contrarrestar la intrusión de aguas del mar en los acuíferos costeros.

Fuente: Bahri (2009) p. 26.

En Europa, la mayoría de los sistemas de reutilización se ubican en las áreas costeras e islas de las regiones mediterráneas semiáridas y en áreas altamente urbanizadas. La escasez de agua es un problema común en la región mediterránea que cuenta con precipitaciones variadas, a veces por debajo los 400 hm al año en las partes del sur de España, Italia, Grecia, Malta e Israel. Algunas veces, los recursos hídricos pueden llegar a un nivel de escasez de agua crónico de 1 000 m<sup>3</sup> por habitante al año. Las grandes distancias entre los recursos hídricos y los usuarios también producen déficits hídricos graves a nivel regional y local y la escasez de agua puede verse empeorada con la llegada de turistas en temporada alta en verano hacia las costas mediterráneas, así como también con el crecimiento demográfico, la sequía y los posibles efectos relacionados con el cambio climático.

Un número reducido de países europeos cuenta con normas o reglamentaciones acerca de la regeneración de las aguas residuales y su reutilización. El artículo 12 de la Directiva Europea sobre Tratamiento de las Aguas Residuales 91/271/CEE indica: “las aguas residuales tratadas deberán reutilizarse cuando sea adecuado”. El término “adecuado” aún carece de una definición legal y los países de la UE deben desarrollar sus propias reglamentaciones nacionales. No obstante, la reutilización del agua es un opción a implementar según se establece en la Directiva Marco Europea sobre el Agua (DMA), que enfatiza la necesidad de integrar normas sanitarias, ambientales, suministro de servicios y reglamentación financiera para el ciclo del agua, con el fin de lograr una eficiencia global y la protección del ciclo del agua (Okun, 2002). La DMA fomenta la integración de las opciones de reutilización del agua en un sistema integrado de suministro y vertido del agua, de diversas maneras (Cuadro 1.2).

### **Agua regenerada para uso agrícola**

Existe evidencia de la reutilización de aguas residuales en la agricultura en las civilizaciones griegas y romanas (Angelakis y Durham, 2008). Dado que la agricultura utiliza alrededor del 70% de la extracción de agua, se espera que en tiempos y regiones donde exista escasez de agua los agricultores opten por las aguas residuales urbanas o domésticas como fuente de agua. Si bien el agua regenerada es una parte relativamente pequeña del suministro de agua total, en algunos países tiene un papel



CUADRO 1.2.

**Posible impacto de la Directiva Marco Europea del Agua en cuanto a la reutilización de aguas residuales**

- \* Necesidad de planes municipales de conservación del agua, que pongan énfasis en la reutilización.
- \* Presión para la existencia de incentivos financieros para los gobiernos locales, promotores y dueños de las instalaciones para que adopten medidas de conservación y reutilización e implementen programas de educación pública. Entre los incentivos puede haber incentivos tributarios, créditos fiscales, subvenciones y créditos con bajos intereses. Si no existen subvenciones, se pueden considerar incentivos para mejorar el rendimiento ambiental, presionando a los usuarios para que innoven o reduzcan el uso del agua.
- \* Requerimiento de que en el año 2010 se introduzcan políticas de precio del agua que ofrezcan incentivos para el uso eficiente de ésta, con el fin de lograr un estado ecológico adecuado de las masas de agua.
- \* Como parte de los planes de desarrollo de las cuencas hidrográficas, la necesidad de identificar alternativas de suministro de agua menos costosas que ofrezcan un alto nivel de sostenibilidad a nivel de las cuencas fluviales.
- \* En relación con los precios de los suministros de agua convencionales y alternativos, la necesidad de garantizar que el usuario corra con los costos de entrega y uso del agua, que refleje sus verdaderos costos. Esto implica una aplicación más estricta de dos principios fundamentales: el principio de quien contamina paga y el principio de recuperación total de los costos, que significa que "debe tenerse en cuenta el principio de recuperación de los costos de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costos medioambientales y los relativos a los recursos asociados a los daños o a los efectos adversos sobre el medio ambiente", en virtud del principio de quien contamina paga. Esto implica que se deben revisar y ajustar las tarifas relacionadas con las fuentes de agua convencionales y alternativas. Se deben considerar en el análisis económico las cargas financieras, sociales y ambientales del vertido de efluentes al medio ambiente y, de esta manera, el verdadero valor del agua regenerada debiera reflejarse neto de externalidades.

Fuente: Bahri (2009) p. 26

importante, especialmente para la agricultura, como por ejemplo en Kuwait, donde el agua reutilizada representa hasta el 35% del total de extracción de agua. Naciones Unidas ha estimado que en agricultura al menos 20 millones de hectáreas en 50 países son regadas con aguas residuales sin tratar o tratadas parcialmente, diluidas o no, lo que representa alrededor del 10% del total de las tierras de regadío. Alrededor de 525 000 ha son regadas con agua regenerada. A pesar de que se ha progresado en el control de la contaminación de las aguas residuales municipales, aún se sigue regando con aguas residuales sin tratar (Jiménez y Asano, 2008a; Jiménez y Asano, 2008b; Lazarova y Bahri, 2008; Bahri, 2009, AQUASTAT).

La agricultura es el usuario principal de agua regenerada, al igual que de agua dulce. Se ha informado que al menos 44 países utilizan agua regenerada para el riego agrícola, con un uso total de más de 15 hm<sup>3</sup>/d (Jiménez y Asano, 2008b). En la Tabla 1.4, se muestra la amplia gama de cultivos que se riegan con aguas residuales sin tratar o tratadas parcialmente (esta tabla no incluye todos los cultivos, pero muestra los más comunes). Muchas más variedades de cultivos podrían utilizar agua regenerada bajo condiciones adecuadas (Asano *et al.*, 2007; Lazarova y Bahri, 2005; Mujeriego, 1990; Pescod, 1992; Pettygrove y Asano, 1985).

## 1.6. PROBLEMAS DE SALUD PÚBLICA Y DIRECTRICES

Los riesgos para la salud pública producto de un mayor uso de agua regenerada son un serio obstáculo para generalizar el uso de esta práctica.

Muchos países basan su reglamentación sobre esta materia en una combinación de las directrices de California, las primeras publicaciones acerca de este tema, y recomendaciones de la OMS. Durante muchos años, las normas de California fueron la única referencia legalmente válida para

**TABLA 1.4**  
**Cultivos agrícolas que utilizan aguas residuales municipales sin tratar o tratadas parcialmente**

Tipos	Ejemplos de cultivos
Cultivos agrícolas	Cebada, maíz (maíz verde), avena, trigo
Cultivos de fibras y semillas	Algodón, semillas de flores y hortalizas
Cultivos de hortalizas que puede consumirse crudos	Brócoli, repollo, coliflor, apio, ají, tomate verde (tomatillo), lechuga, pimiento, tomate
Cultivos de hortalizas que se procesarán antes del consumo	Alcachofa, frijol, cebolla, maní, papa, espinaca, zapallo, remolacha, girasol
Cultivos para forraje	Alfalfa, cebada, trébol, mijo, heno, maíz, pasto
Huertos y viñedos	Árboles frutales, manzanos, paltos, cítricos, limoneros, duraznos, pistachos, ciruelos, olivos, dátiles, vides
Invernaderos	Flores

Fuentes: Asano *et al.* (2007); Jiménez y Asano (2008b); Lazarova y Bahri (2005); Pescod (1992); California State Water Resources Control Board (1990).

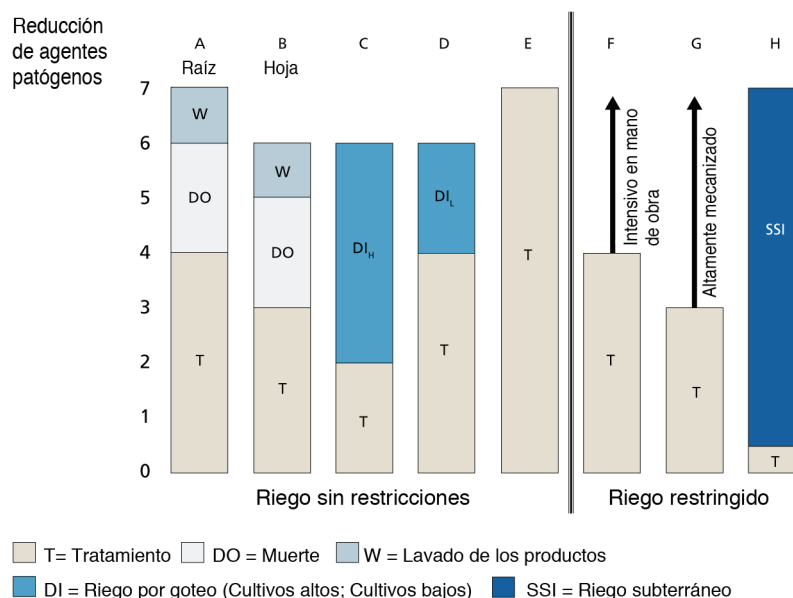
la regeneración y reutilización para lograr el objetivo de cero riesgo y con costosos requerimientos de cumplimiento. Por ejemplo, estipulan que la reutilización sin restricciones de aguas residuales requiere, tras un tratamiento secundario, un tratamiento adicional avanzado con una etapa de coagulación/filtración, seguida de una etapa de cloración/decloración para lograr 0 coliformes fecales/100 ml (Aquarec, 2006), con el fin de producir un efluente que prácticamente no contenga agentes patógenos. Esta tecnología, denominada “Title 22 benchmark”, es considerada como referencia para el riego sin restricciones, según la cual todos los otros sistemas se evalúan, dado su largo historial de éxito. En Europa, más de la mitad de las tecnologías de tratamiento terciarias provienen de este concepto, aunque el tratamiento total “Title 22” sólo se aplica en unos pocos casos (Koo-Oshima, 2009).

En el año 2006, las directrices de la OMS para el uso seguro de las aguas residuales aplican enfoques de gestión de riesgos según el Marco de Estocolmo y recomiendan definir objetivos sanitarios realistas, además de evaluar y administrar los riesgos. Las directrices se refieren al nivel de tratamiento de las aguas residuales, restricción de cultivos, métodos de aplicación de las aguas residuales y control de la exposición humana. Los objetivos sanitarios utilizados por la OMS aplican un nivel de referencia de riesgo aceptable [*por ej.*,  $10^{-6}$  Año de Vida Ajustado por Discapacidad (AVAD)]. El AVAD es un indicador cuantitativo de “carga de enfermedad” y refleja la cantidad total de vida saludable que se pierde, es decir, la calidad de vida que se reduce debido a una discapacidad, o tiempo de vida que se pierde debido a una mortalidad prematura. Dependiendo de las circunstancias, existen varias medidas posibles de protección de la salud (barreras), que incluyen el tratamiento de desechos, restricción de cultivos, adaptación de técnicas de riego y tiempo de aplicación y control de la exposición humana.

El tratamiento parcial según una norma menos exigente puede ser suficiente si se combina con otras medidas de reducción de riesgos para lograr el objetivo de  $\leq 10^{-6}$  AVAD por persona y año (ó 1 de cada 100 000). La Figura 1.4 muestra las opciones de reducción de riesgos por agentes patógenos (es decir, virus, bacterias, protozoos, helmintos) en el agua reciclada que se utiliza para el riego (OMS, 2006). El riesgo principal observado proviene de los helmintos en países en desarrollo en que las aguas servidas se utilizan sin tratamiento o con un tratamiento mínimo. Estudios epidemiológicos de México han informado que los hijos de agricultores que viven cerca de campos regados con aguas residuales no tratadas tienen una mayor prevalencia de infecciones de lombrices intestinales que la población general (Peasey *et al.*, 2000). En estos estudios, las tasas de infección se correlacionan de manera inversa con el nivel de tratamiento de las aguas servidas.

En lugar de centrarse solamente en la calidad de las aguas residuales en esta etapa de uso, las directrices de la OMS-FAO recomiendan definir metas sanitarias realistas y evaluar y manejar los

FIGURA 1.4  
Opciones para la reducción de agentes patógenos tales como virus, bacterias y protozoos, mediante diversas combinaciones de medidas de protección sanitarias que permiten alcanzar el objetivo sanitario de  $\leq 10-6$  AVAD por persona anualmente. (OMS, 2006)



riesgos de manera continua, desde la generación de las aguas residuales hasta el consumo de productos cultivados con estas aguas residuales, con el fin de lograr estas metas. Esto permite que exista un sistema reglamentario y de monitoreo acorde a las realidades socioeconómicas del país o localidad.

Para la UE, el proyecto Aquarec propone siete categorías de calidad para distintos tipos de reutilización (Tabla 1.5), con límites de agentes microbianos y de sustancias químicas para cada categoría (Salgot *et al.*, 2006).

Además de los contaminantes microbianos en las aguas residuales, los contaminantes químicos también pueden provenir de: sales inorgánicas, nutrientes, metales pesados en materia orgánica, detergentes, oligocontaminantes, pesticidas, subproductos de la cloración como N-nitrosodimetilamina (NDMA), cloroformo y sustancias químicas que perturban el sistema endocrino, además de productos farmacéuticos. Las aguas de riego con alto contenido salino pueden degradar de manera severa los suelos, así como también las altas concentraciones de boro ( $>0.4$  mg/l), con efectos tóxicos sobre las plantas.

### Medidas de protección sanitaria

Se puede recurrir a una serie de medidas de protección sanitaria para reducir los riesgos para la salud de los consumidores, trabajadores y sus familias y las comunidades locales, algunas de las cuales ya han sido mencionadas. Los riesgos asociados con el consumo de productos regados con aguas residuales incluyen agentes patógenos provenientes de la materia fecal y algunas sustancias químicas tóxicas. El riesgo de contagio por agentes patógenos infecciosos se reduce significativamente si los alimentos se consumen cocidos. Sin embargo, la cocción tiene un impacto nulo o mínimo sobre las concentraciones de sustancias químicas tóxicas que pudieran estar presentes. Las siguientes medidas de protección sanitarias (barreras) tienen un efecto positivo sobre los consumidores de los productos:

TABLA 1.5

**Categorías de calidad del agua para diferentes usos finales de aguas residuales regeneradas definidas por el proyecto Aquarec (Salgot et al., 2006)**

Categoría microbiana	Categoría química	Uso final específico
I	1	Usos residenciales (jardines, inodoros, sistemas domésticos de aire acondicionado, lavado de autos).
	-1	Recarga de los acuíferos por inyección directa.
II	1	Agua para el baño.
III	1	Usos urbanos e instalaciones: riego de áreas verdes con acceso público (parques, campos de golf, campos deportivos...); limpieza de calles, combate de incendios, lagunas ornamentales y fuentes decorativas; riego de cultivos de invernaderos, riego de cultivos alimentarios que se consumen crudos. Árboles frutales regados por aspersión; riego sin restricciones.
IV	1	Riego de pastos para animales lecheros y para carne; riego de cultivos industriales para la industria de conservas y cultivos que no se consumen crudos. Riego de árboles frutales, excepto a través de aspersión; riego de cultivos industriales, viveros, forraje, cereales y semillas oleaginosas.
	2	Lagunas, masas y cursos de agua para uso recreacional en que se permite el contacto del público con el agua (excepto el baño).
V	1	Riego de áreas forestales, áreas verdes y áreas con acceso restringido; actividad forestal.
	2	Lagunas, masas y cursos de agua para uso recreacional en que se permite el contacto del público con el agua (excepto el baño).
	3	Recarga de acuíferos, mediante percolación localizada a través del suelo
VI	2	Calidad de agua superficial, lagunas, masas y cursos de agua para uso recreacional en que no se permite el contacto del público con el agua.
VII	4	Enfriamiento industrial, excepto para la industria alimentaria.

\*La recarga directa del acuífero debe tener la calidad del agua potable, el agua potable no puede producirse a partir de agua regenerada sin un tratamiento terciario avanzado, como ósmosis inversa o percolación a través del suelo (es decir, recarga indirecta del acuífero).

- tratamiento de las aguas residuales,
- restricción de cultivos,
- técnicas de aplicación de las aguas residuales que minimizan la contaminación de los cultivos (por ej., riego por goteo)
- período de retención para permitir que los agentes patógenos mueran tras la última aplicación de aguas residuales
- prácticas higiénicas en mercados de alimentos y durante la preparación de los alimentos
- promoción de la salud y de la higiene
- lavado, desinfección y cocción de los productos
- quimioterapia, inmunización y terapia de rehidratación oral.

La mejor calidad del agua regenerada se logra mediante procesos de tratamiento terciarios con doble membrana (microfiltración y ósmosis inversa) (Aquarec, 2006). Esto, sin embargo, resulta costoso y se recomienda solo para cultivos de alto valor o para recarga acuífera. Un enfoque pragmático consiste en hacer que el tratamiento de las aguas residuales sea “adecuado al objetivo”, dependiendo del uso específico y el grado de contacto humano que exista (por ej., si el producto se va a consumir crudo,

pelado, cocido, si se utiliza para forraje, para uso industrial, como algodón, biocombustible, o bien, si el agua se utiliza para árboles frutales, etc.). Una serie de cultivos pueden regarse con agua regenerada (Tabla 1.6) y existe información disponible acerca de todos los aspectos agronómicos del riego que utilizan agua regenerada.<sup>9</sup>

TABLA 1.6  
Ejemplos de Cultivos Regados con Aguas Residuales Tratadas\*

Tipos	Ejemplos de cultivos	Tratamiento requerido
Cultivos agrícolas	Cebada, maíz, avena	Secundario, desinfección
Cultivos de fibras y semillas	Algodón	Secundario, desinfección
Hortalizas que pueden consumirse crudas	Aguacate, repollo, lechuga, fresa	Secundario, filtración, desinfección
Hortalizas que se procesan antes del consumo	Alcachofa, remolacha, caña de azúcar	Secundario, desinfección
Cultivos para forraje	Alfalfa, cebada, mijo	Secundario, desinfección
Huertos y viñedos	Damasco, naranja durazno, ciruela, vides	Secundario, desinfección
Invernaderos	Flores	Secundario, desinfección
Bosques comerciales	Madera, álamos	Secundario, desinfección

\*Adaptado de Lazarova y Bahri (eds.) 2005.

La FAO y la OMS han desarrollado un “Código de Prácticas de Higiene para las Frutas y Hortalizas Frescas”.<sup>10</sup> Este código utiliza un enfoque de la *cadena alimentaria* y evalúa riesgos desde el campo a la mesa, considerando todos los aspectos de los cultivos desde la producción primaria hasta el consumo. Los riesgos se pueden producir en la etapa de producción primaria en el entorno de la finca (a través del suelo, flora y fauna silvestre, proximidad a centros urbanos e industriales, desagües, susceptibilidad de escorrentía, etc.), al usar aguas residuales para riego, o a través de estiércol, enmiendas del suelo, pesticidas e incluso las mismas semillas o plantas. La evaluación de los riesgos también debe considerar la exposición de los trabajadores (cultivadores, recolectores) y temas relacionados con el transporte desde la finca a los centros de empaque/procesamiento y el manejo posterior a la cosecha de los productos frescos.

Las posibles fuentes de contaminación y peligros en la cadena alimentaria incluyen bacterias patógenas (*Salmonella*, *Escherichia coli* entero hemorrágica, *Campylobacter*, *Listeria*, *Shigella*, *Yersinia*), parásitos (*Cryptosporidium*, *Cyclospora*, *helminths*) y virus (hepatitis A, norovirus). Recientemente, han surgido problemas relacionados con agentes patógenos en productos frescos. Las hortalizas de hojas verdes son las que tienen un mayor problema respecto a los riesgos microbiológicos. Estas hortalizas se cultivan y se exportan en grandes volúmenes y se han vinculado a múltiples brotes de enfermedades en al menos tres regiones del mundo. Esto cultivos se producen y procesan de diversas y complejas maneras, desde el empaque, precorte y ensacado en el terreno, lo cual puede aumentar la presencia de agentes patógenos transmitidos por los alimentos. Normas internacionales como el Codex Alimentarius (OMS, 1993) tienen un papel fundamental en la protección de la salud de los consumidores y en facilitar el comercio internacional.

## 1.7. CALIDAD DE LAS AGUAS RESIDUALES: PROCESOS DE TRATAMIENTO BÁSICOS

El tratamiento de las aguas residuales municipales implica típicamente los procesos (WELL, sin fecha) que se muestran a continuación. No se muestran aquí definiciones más extensas, dado que pueden encontrarse en textos específicos de ingeniería. Además, los análisis de lagunajes y otros sistemas de tratamiento extensivos, va más allá del alcance de este informe.

<sup>9</sup> La FAO ha publicado varios informes como el titulado “Water Quality for Agriculture” (*Calidad del Agua para la Agricultura*), así como estudios acerca de la tolerancia a la salinidad de varios cultivos en la Serie de Informes de Riego y Drenaje. Se encuentran disponibles en el siguiente sitio: [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_pubs\\_quality.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_pubs_quality.html).

<sup>10</sup> Grupo experto del Comité del Codex Alimentarius sobre Higiene de los Alimentos sobre Productos Frescos.

- *Preliminar*: filtrado y eliminación de arena. Elimina materiales sólidos gruesos y otros materiales grandes que se encuentran frecuentemente en las aguas residuales sin tratar.
- *Primario*: sedimentación simple de los materiales sólidos en un tanque de sedimentación primario. Las partículas sólidas se asientan en el fondo y los aceites y grasas suben a la superficie. Este material es eliminado como fango para un tratamiento a parte.
- *Secundario*: eliminación adicional de contaminantes, generalmente mediante procesos biológicos para eliminar material orgánico disuelto. Las aguas residuales provenientes del tratamiento primario pasan a un tanque de aireación, donde crecen microorganismos que consumen la materia orgánica restante. Tras la aireación, la mezcla se clarifica, en un sedimentador llamado secundario. El residuo sedimentado es eliminado como fango, para un tratamiento y vertido por separado.
- *Terciario*: implica la eliminación de contaminantes específicos, por ej., nitrógeno o fósforo, o contaminantes industriales específicos. El afluente luego puede desinfectarse para eliminar microorganismos perjudiciales mediante cloración o desinfección ultravioleta. Luego, se elimina el cloro residual.
- *Procesamiento de fangos y material sólido*: los elementos sólidos provenientes de los procesos primario y secundario son enviados a un digestor anaerobio que produce como principales subproductos, lodos digeridos/estabilizados, biogás (metano y CO<sub>2</sub>) y agua. Los lodos digeridos se envían a vertederos o incineradores o se utiliza en agricultura como fertilizante o como enriquecimiento del suelo<sup>11</sup>.

A pesar de que las aguas residuales sin tratar se usan frecuentemente en agricultura en muchos lugares, también es típica la reutilización de efluentes tratados, al menos a un nivel secundario. Como se mencionó en la sección 1.6, esto puede solucionar problemas de salud pública, con limitaciones apropiadas de uso y medidas preventivas. El efluente tratado a un nivel secundario aún contiene nutrientes de valor para los agricultores, mientras que algunos tratamientos terciarios eliminan el nitrógeno y el fósforo que son ingredientes fundamentales para la fertilización.

En ciertos lugares (por ej., el delta del Llobregat, uno de los casos de estudio del Capítulo 2), el efluente de aguas residuales tiene un contenido salino excesivamente alto, que es necesario eliminar para que sea útil para los agricultores. En este caso específico, se instaló una unidad de Electrodialisis Inversa (EDR, por sus siglas en inglés) para entregar un tratamiento adicional del efluente que llega a las fincas.

La elección del grado de tratamiento de las aguas residuales normalmente se efectúa de acuerdo con razones ambientales, recreativas y de salud pública. Sin embargo, cuando se considera el uso de un tratamiento adicional como parte de un proyecto de reutilización, es recomendable minimizar los costos empleando tecnologías que puedan ofrecer una operación fiable en el largo plazo, que supongan bajos costos de operación y mantenimiento, que minimicen el uso de sustancias químicas y que sean lo más compactas posible (Sorgini, 2007). Cuando el espacio lo permite, se pueden construir instalaciones adicionales dentro de las instalaciones existentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

## 1.8. TEMAS AMBIENTALES, DE INFRAESTRUCTURA Y LEGALES

### Ambientales

El posible efecto de utilizar agua reciclada en la salud humana se consideró en la sección 1.6. Es posible que las aguas residuales contengan agentes patógenos para las plantas, animales y humanos que se transmiten a través de la cadena alimentaria o el medioambiente: los nitratos, *Giardia* y *Cryptosporidium*, sustancias químicas que perturban el sistema endocrino u otras sustancias orgánicas persistentes, han sido materia de reciente preocupación.

<sup>11</sup> La eliminación del fango en el mar es otra opción, aunque ahora está prohibida en los países de la UE y en otros lugares.

Los diferentes tipos y grados de tratamiento de las aguas residuales pueden afectar la presencia de contaminantes en el efluente disponible para reciclaje. Si contiene metales pesados u otras sustancias perjudiciales existe un riesgo de acumulación en el suelo en el largo plazo. En algunos casos, el contaminante puede estar presente en la fuente del agua (como en los casos de estudio españoles, en que la salinidad es un problema que se ha solucionado a través de una unidad de desalinización por ósmosis inversa).

El vertido inadecuado de aguas residuales tratadas podría provocar, entre otros problemas, eutrofización de las aguas superficiales, por lo que las directrices ambientales de la UE y de otros países exigen que el tratamiento alcance hasta nivel terciario en casos específicos. En estas circunstancias, los agricultores asignan un beneficio ambiental a la utilización de agua reciclada en que los nutrientes, tales como el fósforo y el nitrógeno, son absorbidos por los cultivos en lugar de ser vertidos en otras masas de agua.

La reutilización del agua puede ser un medio de reducir los vertidos de aguas residuales. El agua regenerada también ha sido utilizada para restaurar humedales, arroyos o acuíferos subterráneos, al recuperar flujos y niveles freáticos. El agua regenerada puede ofrecer una fuente de agua para promover el crecimiento en regiones con escasez de agua y para aumentar los ingresos de agricultores de zonas periurbanas o urbanas con pocos recursos.

### **Infraestructura y transporte**

En algunos casos (la mayoría de los casos de estudio del Capítulo 2) los tratamientos existentes permiten producir efluentes de la calidad necesaria para regar, o se planea mejorar las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes con el fin de producir un efluente de dicha calidad. No obstante, en otros casos, será necesario efectuar una mejora sustancial de las plantas de tratamiento y puede ser necesario agregar procesos específicos (por ej., desalinización) para ofrecer efluentes adecuados para el uso agrícola.

La geografía local es importante para la viabilidad de los sistemas de reciclaje. La fuente de agua regenerada tiene que estar a una distancia razonable de los usuarios con el fin de minimizar la necesidad de nuevos elementos de transporte y el costo de bombeo. Si se pueden utilizar los sistemas de conducción existentes, obviamente sería una ventaja. De igual forma, si no más importante, la viabilidad económica de los esquemas de reutilización se basa normalmente en un intercambio de derechos de agua entre los agricultores y las ciudades: debe ser factible desde el punto de vista físico y geográfico. Los derechos de agua dulce deben ser accesibles para las ciudades a un costo razonable, con un mínimo de nuevas infraestructuras de transporte y extracción, en comparación con las alternativas. Los estudios de casos del Capítulo 2 incluyen casos en que la transferencia es altamente factible en estos términos, así como casos en que la viabilidad no es tan obvia.

### **Infraestructura y métodos de riego**

El segundo aspecto es la viabilidad de la reutilización desde un punto de vista de la infraestructura de riego. Algunos métodos de riego pueden reducir la exposición de los cultivos a los agentes patógenos, mientras que otros no resultan adecuados. El riego por aspersión, por ejemplo, no es aconsejable para el riego de lechugas, debido a la capacidad del cultivo de mantener agua entre sus hojas y, de esta manera, mejorar la supervivencia de los agentes patógenos. Otros cultivos necesitan métodos de riego específicos, por ejemplo, el pasto para forraje generalmente es regado por aspersión y es difícil hacerlo por goteo a menos que el suelo sea pesado.

Algunos de los problemas generales de utilizar agua regenerada para el riego es la posibilidad de crecimiento de algas y macrofitas en canales abiertos, la formación de biopelículas en tuberías y el hecho de que vuelvan a crecer agentes patógenos en los sistemas de regeneración y reutilización. Algunos de estos efectos pueden mitigarse utilizando sustancias químicas u otros medios que cambien la composición del agua regenerada.

Las prácticas y dispositivos de riego (por ej., por goteo o tuberías porosas) que limitan el contacto con los humanos, partes vulnerables del medio ambiente o partes de plantas, tienen menos riesgos para la salud que otros (por ej., aspersión, pulverizadores) que reparten el agua regenerada de manera difusa. Algunos de los factores a considerar al seleccionar el método de



riego, desde el punto de vista del efecto sobre los trabajadores y los consumidores, se muestran en las Tablas 1.7, 1.8 y 1.9.

TABLA 1.7

**Factores que influyen en la selección del método de riego y medidas especiales necesarias para las aplicaciones de agua regenerada**

Método de riego	Factores que influyen en la selección	Medidas especiales para el riego con agua regenerada
Riego por inundación	El de menor costo No se requiere una nivelación exacta Baja eficiencia del uso del agua Bajo nivel de protección sanitaria	Rigurosa protección de los trabajadores en el campo, manipuladores de cultivos y consumidores (por ej., equipos de protección)
Riego por surcos	Bajo costo Se puede necesitar nivelación Baja eficiencia del uso del agua Nivel medio de protección sanitaria	Protección de los trabajadores en el campo, posiblemente de los manipuladores de cultivos y consumidores (por ej., equipos de protección)
Riego por aspersión	Costo medio a alto Eficiencia media del uso del agua No se requiere nivelación Bajo nivel de protección sanitaria (debido a los pulverizadores)	Distancia mínima de 50-100 m desde casas y caminos Restricciones de la calidad del agua (eliminación de agentes patógenos) No se deben utilizar desechos anaeróbicos, debido a los malos olores Uso de miniaspersores
Riego subterráneo y por goteo	Alto costo Alta eficiencia del uso del agua Mayores rendimientos Mayor nivel de protección sanitaria	No se requieren medidas de protección Restricciones de la calidad del agua (filtración) para evitar que los dispositivos se obstruyan

Fuente: Lazarova y Bahri (2005, 2008).

TABLA 1.8

**Clasificación de las prácticas de cultivo como función del riesgo sanitario para los trabajadores agrícolas**

Bajo riesgo de infección	Alto riesgo de infección
Prácticas agrícolas mecanizadas Prácticas de cosecha mecanizadas Cultivos se secan antes de la cosecha Largos periodos secos entre riegos	Áreas con una alta cantidad de polvo Cultivo a mano Cosecha a mano de cultivos alimentarios Movimiento de los equipos de aspersión Contacto directo con las aguas de regadío

Fuente: Lazarova y Bahri (2005).

TABLA 1.9

**Niveles de riesgo asociados con los diferentes tipos de cultivos que se riegan con agua regenerada**

Menor riesgo para el consumidor, pero aún es necesaria la protección para los trabajadores en el campo	Riesgo medio para el consumidor y el manipulador de alimentos	Mayor riesgo para el consumidor, trabajador en el campo y manipulador de alimentos
<b>Riego agrícola</b> Cultivos industriales no aptos para el consumo humano (por ej., algodón, sisal) Los cultivos normalmente pasan por un proceso de calor o son secados antes del consumo humano (granos, oleaginosas, remolachas) Hortalizas y frutas que se cultivan exclusivamente para ser enlatadas u otro procesamiento que destruye efectivamente los agentes patógenos Cultivos para forraje y otros cultivos para pienso que son secados al sol y se cultivan antes de ser consumidos por los animales	Pastos, forrajes verdes Cultivos para consumo humano que no entran en contacto directo con aguas residuales, con la condición de que no se recolecten del suelo y que no se use riego por aspersión (por ej., árboles, vides) Cultivos para el consumo humano que normalmente se comen cocidos (por ej., papas, berenjenas, betarragas) Cultivos para el consumo humano, cuya cáscara no se consume (por ej., melones, cítricos, plátanos, nueces, maní) Cualquier cultivo no identificado de alto riesgo si se utiliza riego por aspersión	Cualquier cultivo que se come crudo y que crece en estrecho contacto con el efluente de aguas residuales (por ej., hortalizas frescas como lechugas o zanahorias, frutas regadas por aspersión) Riego por aspersión sin considerar el tipo cultivo a 100 m de las áreas residenciales o lugares de acceso público
<b>Riego de jardines</b> Riego de jardines en áreas delimitadas con rejas sin acceso público (por ej., invernaderos, bosques, áreas verdes)	Campos de golf con programas de riego automatizado	Campos de golf con riego manual Riego de jardines con acceso público (por ej., parques, patios de escuelas, céspedes)

Fuente: Lazarova y Bahri (2005).



**Marco legal y derechos de agua**

La reutilización de aguas residuales comúnmente implica una transferencia de derechos de agua entre agricultores y municipalidades (u otros usuarios de agua). En principio, ambas partes deben beneficiarse por dicho intercambio de derechos cuando las condiciones sean favorables. Sin embargo, a menos que se haya reglamentado la obligación, un intercambio voluntario depende de que los agricultores tengan derechos seguros y alienables sobre el agua que desean transferir, ya sea en mercados de agua o a cambio de compensaciones. Deben poseer dichos derechos legales y su sistema legal nacional debe permitir la transferencia o venta de estos derechos a otras personas. Muchos sistemas legales no estipulan estas garantías. De esta manera, es posible que las municipalidades, que se beneficiarán financieramente (o ahorrarán) y que podrían financiar proyectos de reutilización, no cuenten con garantías suficientes para el “intercambio” de derechos de agua que compensen el efluente reciclado. Cuando existan problemas de agua en una ciudad o región lo suficientemente graves, es posible que se requiera reglamentar la obligación para lograr una solución. No obstante, incluso en ese caso, es probable que surjan interrogantes acerca de los derechos y las compensaciones.

Además, también pueden asignarse derechos legales formales o informales al uso de aguas residuales (tratadas o no) por parte de agricultores u otros grupos que soliciten compensación en el caso de que se haga un desvío de estas aguas para ser utilizadas en otro lugar (Bahri, 2009).

## Capítulo 2

# Una perspectiva regional: introducción a los estudios de caso de España y México

En este capítulo se presentan los estudios de caso que darán un contexto real a este informe. Tras la presentación de la metodología económica en el Capítulo 3, en el Capítulo 4 se utilizan datos económicos y financieros obtenidos a partir de estos estudios de caso para mostrar de forma práctica la manera en que se puede realizar el análisis económico, también se dan algunos resultados indicativos.

El material de los casos proviene de cinco regiones, en España y México (Tabla 2.1). Algunos de los proyectos descritos en este capítulo estaban en planificación o en construcción cuando se redactó la versión original en inglés de este informe, en 2008, cuyo texto se ha respetado en la versión en español. En la actualidad algunos de estos proyectos ya están acabados y operativos.

TABLA 2.1.  
Lugares de los cuales proviene el material de los casos

España: Estudios de casos
Delta del Llobregat
Sant Feliu de Llobregat
El Prat de Llobregat
Gavà-Viladecans
Delta del Tordera y Costa Brava
Blanes
Castell-Platja d'Aro
México: Estudios de casos
Ciudad de México y Valle de Tula
Ciudad de Guanajuato y Módulo de Riego La Purísima
Ciudad de Durango y Módulo de Riego Guadalupe Victoria

Los sitios fueron escogidos para mostrar el potencial y las dificultades prácticas que surgen con la reutilización, ya sea de aguas residuales tratadas (regeneradas) o sin tratar. Todos estos sitios tienen potencial para obtener resultados “en que todos ganan”, en el sentido de que el reciclaje de agua puede beneficiar a dos o más de las partes que participan en la transacción, que pueden ser: las autoridades hídricas urbanas (“ciudades”), los agricultores y los encargados de proteger el medioambiente.

En los estudios de caso se presentan varios tipos de proyectos y acuerdos “en que todos ganan”:

- agricultores que ceden sus derechos de agua dulce a la ciudades a cambio de un suministro garantizado de agua regenerada rica en nutrientes (Sant Feliu, El Prat, Durango);
- agricultores que aceptan agua regenerada como complemento o como alternativa a la extracción de aguas subterráneas sobreexplotadas, lo cual les da una mayor fiabilidad y evita costos, con beneficios para el medioambiente (Tordera Delta);
- el suministro de agua regenerada y aguas residuales (sin tratar) a la agricultura como una solución para el tratamiento y vertido de aguas residuales urbanas, así como también como una manera de ofrecer beneficios a los agricultores (Ciudad de México/Tula, Guanajuato/La Purísima, Gava-Viladecans antes de 1986).
- A pesar de que los motivos para los diversos acuerdos son diferentes, cada uno de ellos ofrece beneficios potenciales para las tres partes interesadas mencionadas anteriormente.

Estos acuerdos son atractivos para los agricultores normalmente por la seguridad del suministro del efluente, sus propiedades fertilizantes y el ahorro por no tener que extraer aguas subterráneas. El atractivo de dichos proyectos para la ciudades puede ser el acceso a agua dulce adicional a un costo inferior al que deberían pagar o la oportunidad de verter las aguas residuales (tratadas o no) de una manera más ventajosa. El *medioambiente* también es un posible beneficiario, por ejemplo, en el caso de que se encuentre bajo presión por la sobreexplotación de los acuíferos, por la disminución de los caudales ecológicos de los ríos, por la degradación de los humedales o por la intrusión salina en los acuíferos de las zonas costeras. En dichos casos, las autoridades regionales responsables del estado del medioambiente (*encargados de proteger el medioambiente*) tienen un interés directo en la reutilización del efluente, ya sea para liberarlo en cursos de agua naturales (sujeto a las reglamentaciones y leyes locales), o bien, porque permite disminuir la extracción desde ríos o acuíferos.

## 2.1. ESPAÑA: DELTA DEL LLOBREGAT

### 2.2.1. Características del lugar

La cuenca del río Llobregat se ubica en la zona NE de España, contigua a Barcelona, capital de Cataluña (Mapa 2.1). En las últimas décadas, el río Llobregat ha resultado altamente contaminado por las aguas residuales industriales y urbanas y por la escorrentía superficial proveniente de la agricultura. Este río experimenta inundaciones y sequías periódicas que llevan a frecuentes variaciones morfológicas en el lecho del río y a modificaciones de sus riberas. El río Llobregat tiene dos afluentes principales, el río Cardener y el río Anoia y los tres reciben el efluente proveniente de diversas plantas de tratamiento de aguas servidas y de efluentes industriales, tratados y sin tratar. Además, la presencia de formaciones salinas naturales en la cuenca (en Cardona, Suria y Sallent) ha provocado el aumento de la salinidad del agua.

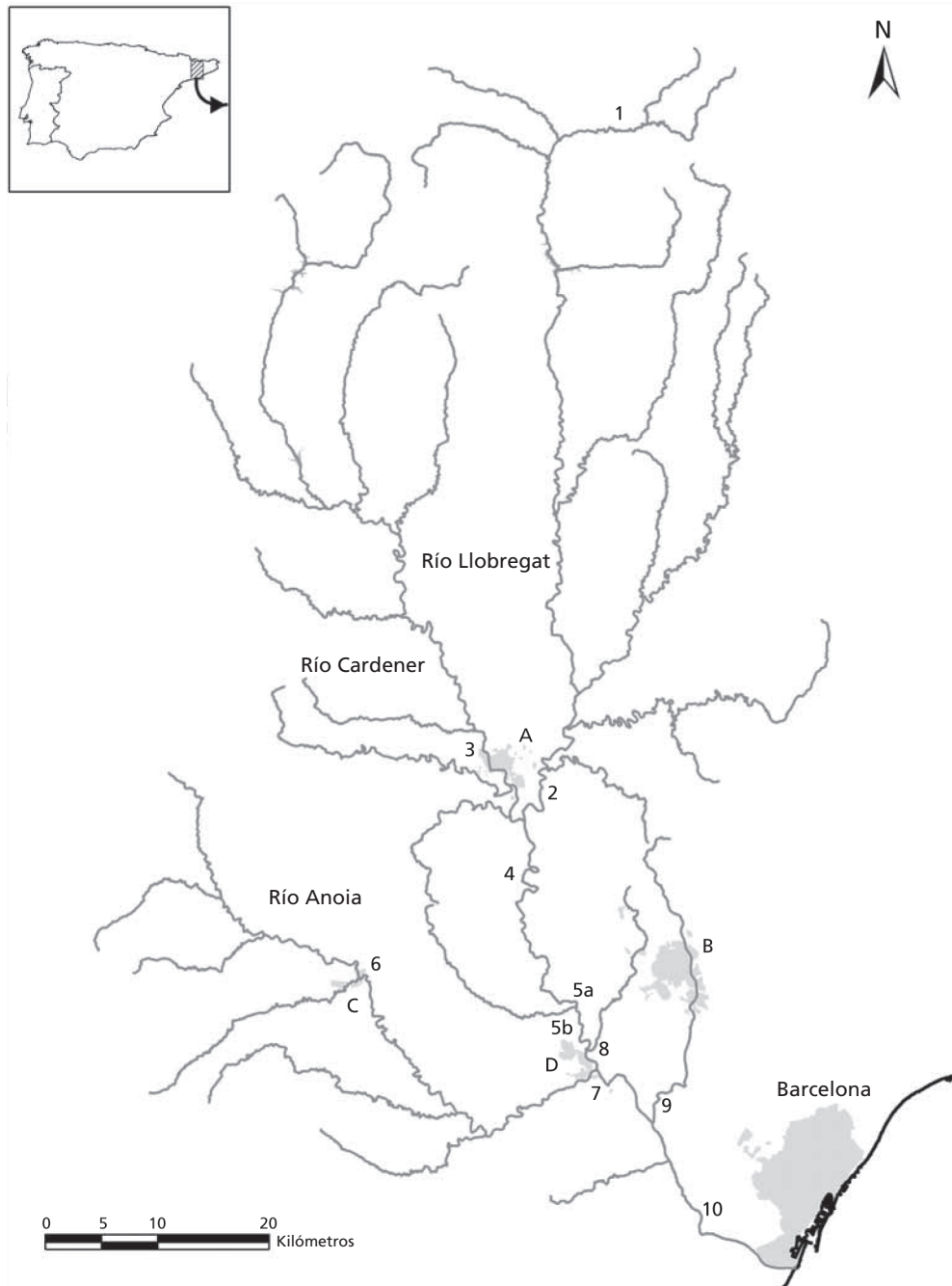
El delta del río Llobregat se ubica al sur de la ciudad de Barcelona y abarca alrededor de 100 kilómetros cuadrados. A pesar de estar cerca de la ciudad, es un hábitat natural valioso. Sus humedales son importantes internacionalmente para la flora y fauna silvestre y son un refugio invernal fundamental para muchas aves migratorias. El acuífero del delta es uno de los recursos de agua dulce más importantes de la región de Barcelona, con una capacidad subterránea de 100 hm<sup>3</sup>/año, utilizado por numerosas industrias, la agricultura y el área metropolitana de Barcelona y pueblos de los alrededores. Las fértiles tierras del delta permiten la agricultura intensiva que abastece al mercado local.

Desde la década de 1960, la tierra del delta ha estado bajo constante presión debido a la expansión urbana e industrial de Barcelona. El área ha sido un polo de atracción para las infraestructuras de transporte y logística más importantes de Cataluña (puertos, aeropuertos, redes de autopistas y trenes). La reciente ampliación del puerto obligó a mover hacia el sur la entrada del río al mar. Menos del 5% de los humedales originales del área se mantienen hasta ahora y en algunas municipalidades, la mitad de la tierra agrícola se ha perdido en esta última década.

A fines de la década de 1980, el río Llobregat fue uno de los más contaminados y degradados de Europa Occidental. La sobreexplotación de las aguas subterráneas ha llevado a la salinización del acuífero, con lo cual el 30% de ellas quedó inutilizable. Desde 1991, con la Directiva Europea sobre Aguas Residuales Urbanas, se ha implementado un programa integral de tratamiento de aguas residuales a lo largo del río y la situación ha mejorado considerablemente. Se han creado nuevas plantas de tratamiento de aguas residuales con instalaciones terciarias y a la vez se ha planificado e implementado un programa de regeneración de agua para afrontar la escasez y el aumento de la demanda de agua desde todos los sectores.

Toda la cuenca hidrográfica, que incluye el área metropolitana de Barcelona, depende de los recursos de agua, tanto de fuentes locales como remotas, que son altamente variables. Cuando el caudal del río Llobregat es insuficiente, se debe transportar más agua desde el río Ter hacia la cuenca

MAPA 2.1  
Cuenca del río Llobregat



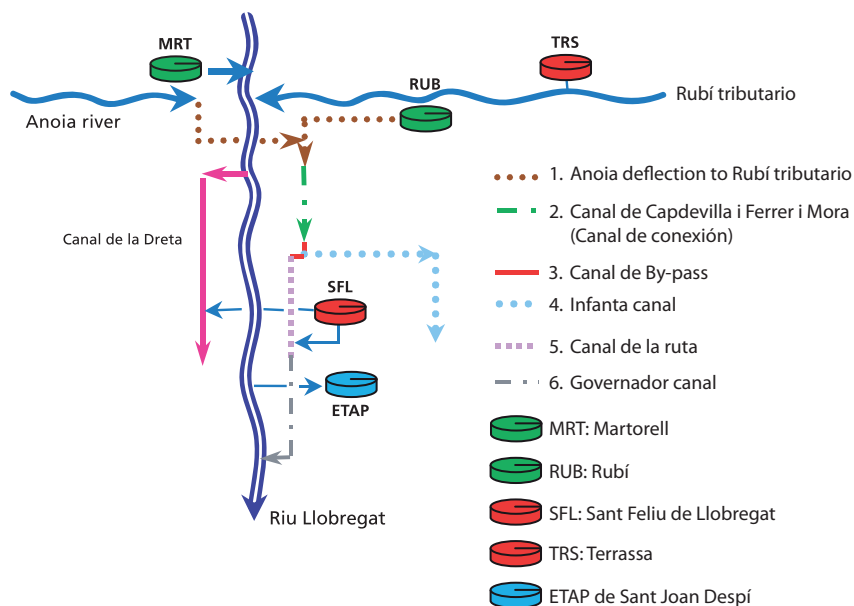
hidrográfica del Llobregat. La extracción de los acuíferos también se ve afectada por la calidad de agua del río Llobregat. Si el agua es de mala calidad, el agua superficial debe mezclarse con más agua subterránea para ser tratada para el uso doméstico.

El suministro de agua del área metropolitana de Barcelona actualmente proviene de tres fuentes: del río Ter (aprox. 50%); del río Llobregat (aprox. 40%) a través de dos plantas de tratamiento (Sant Joan Despí y Abrera) y de diversos pozos que explotan aguas subterráneas (aprox.10%). En poco tiempo más, estará funcionando una nueva planta de desalinización de agua de mar, con una capacidad de 60 hm<sup>3</sup>/año.

Existen infraestructuras que evitan la contaminación excesiva del río al interceptar efluentes específicos, como los canales que reciben las aguas residuales urbanas tratadas desde el río Rubí y los que recolectan salmuera proveniente de minas de sal (Figura 2.1). Además de estos canales, existe un canal de riego principal por la margen derecha del río, el *Canal de la Dreta*, que abastece a las huertas con agua extraída del curso medio del río. Por la margen izquierda del río, el *Canal de la Infanta* también fue concebido como canal de riego, pero actualmente su principal función consiste en canalizar aguas residuales tratadas, para evitar que sean vertidas al río y mejorar la calidad de sus aguas. El acuífero se utiliza principalmente para el riego, dado que tiene una salinidad inferior a la del río, excepto en las áreas en que existe intrusión del agua del mar.

El río Llobregat es la principal fuente de agua para regadío, que se canaliza sobretudo a través del Canal de la Dreta y una pequeña cantidad a través del Canal de la Infanta. Hoy en día, en condiciones de sequía, la extracción de los acuíferos del Llobregat excede la recarga natural de 5,6 hm<sup>3</sup>/año. Esta sobreexplotación ha llevado a elaborar una nueva política con el fin de restablecer

FIGURA 2.1  
Canales de desviación en el curso inferior del río Llobregat



el estado natural de la cuenca del río, basándose parcialmente en la regeneración y reutilización de aguas residuales tratadas.

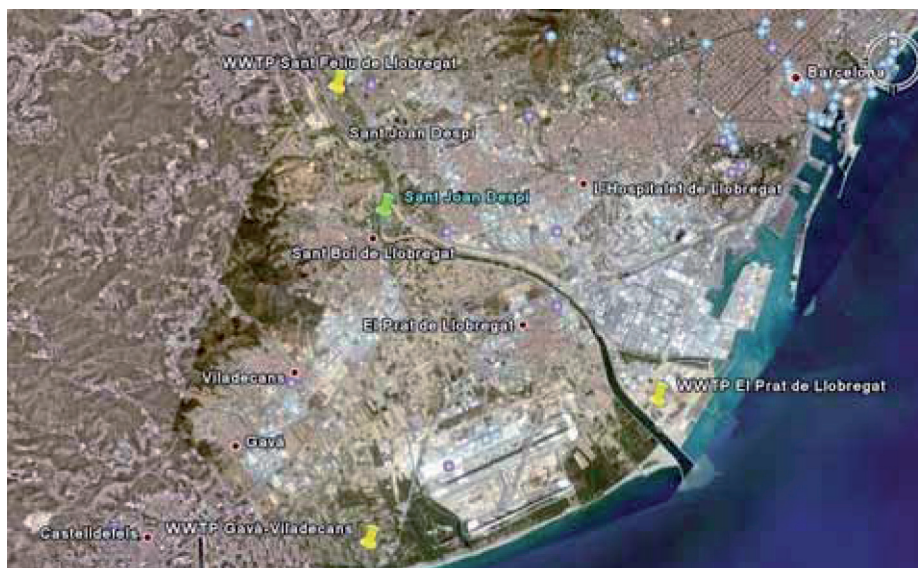
### 2.1.2. Tratamiento de las aguas residuales

En el área de estudio existen dos plantas de tratamiento de aguas residuales principales: la planta de tratamiento Sant Feliu del Llobregat y la planta de tratamiento El Prat de Llobregat, ambas con tratamiento terciario, ver el Mapa 2.2. Una tercera planta opera en la orilla oeste del delta en Gavà-Viladecans, la cual se analiza a continuación.

El efluente de la planta de tratamiento de *Sant Feliu de Llobregat* es tratado en su totalidad a nivel terciario y se encuentra disponible para el uso en la agricultura de regadío. El volumen del efluente, alrededor de  $19 \text{ hm}^3/\text{año}$ , puede ser transferido hacia el Canal de la Dreta para fines de regadío en el costado derecho del delta del Llobregat. El efluente generalmente se mezcla con agua de pozo con el fin de que el agua alcance una calidad óptima para el riego. Las áreas regadas se ubican en Sant Viçenc dels Horts, un pueblo en la parte norte del delta. En la actualidad, sólo una pequeña parte del efluente es utilizada realmente por los agricultores (alrededor de  $0,2 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), quienes lo ven como el último recurso a utilizar durante períodos de sequía cuando no se encuentra disponible agua dulce suficiente.

La planta de tratamiento *El Prat de Llobregat*, con una generación de aguas residuales de alrededor de  $120 \text{ hm}^3/\text{año}$ , es una de las plantas de tratamiento más grandes no sólo en España, sino además en toda Europa. La planta de tratamiento, que sirve a más de 2 millones de habitantes, genera  $4,5 \text{ hm}^3/\text{año}$  de aguas residuales tratadas a niveles terciarios que pueden utilizarse para suministrar el caudal ecológico de la parte inferior del río Llobregat y proporcionar agua para el riego agrícola y agua a los humedales en las áreas del delta del río. Una parte importante del caudal regenerado también se utilizará para crear una barrera hidráulica contra la intrusión de agua de mar en el acuífero inferior del Llobregat.

MAPA 2.2  
Plantas de tratamiento de aguas servidas



Fuente: Google Maps (<http://maps.google.com>).

La planta de tratamiento *El Prat de Llobregat* puede recolectar las aguas residuales tratadas de otras instalaciones ubicadas en la parte media y superior del río. Sin embargo, la concentración de la actividad industrial y las sales agregadas por los usos urbanos del agua aumenta la salinidad del efluente y afecta su reutilización. Las instalaciones de tratamiento de la planta fueron mejoradas en el año 2006, con el fin de obtener la calidad del agua requerida para su reutilización. Se construyeron dos líneas de tratamiento terciario diferentes, cada una con la tecnología apropiada para los fines de reutilización esperados. El agua destinada como barrera hidráulica a la intrusión del agua de mar de las zonas costeras se procesa adicionalmente mediante microfiltración y ósmosis inversa.

A pesar de que existe la infraestructura, el agua regenerada que genera la planta de tratamiento de El Prat de Llobregat actualmente no se utiliza en la agricultura de regadío. Los agricultores prefieren utilizar el acuífero como fuente de agua principal, complementado por el agua del río Llobregat a través del Canal de la Dreta. Sin embargo, la extracción del canal antes mencionado por parte de los agricultores está prohibida durante períodos de sequía y, en esas ocasiones, los agricultores están obligados a utilizar las aguas residuales regeneradas provenientes de la planta de tratamiento El Prat de Llobregat.

Diez kilómetros al oeste de El Prat de Llobregat, la región agrícola de *Gavà-Viladecans* produce alcachofas, tomates y otras hortalizas. Hasta 1986, los pueblos de Gavà y Viladecans no contaban con una planta de tratamiento de aguas residuales y, antes de su creación, los agricultores utilizaban aguas residuales sin tratar distribuidas a través de una red de canales. Estos canales ahora se utilizan para distribuir las aguas provenientes de la planta tratamiento, así como también para canalizar el exceso de agua y las aguas de lluvia. El canal de riego del costado derecho del Llobregat (Canal de la Dreta), utilizado por los otros agricultores del delta, se encuentra muy alejado de esta área, por lo cual los agricultores locales aceptaron el uso del efluente tratado en la nueva planta.

El efluente tratado de la planta de tratamiento Gavà-Viladecans, es canalizado hacia los agricultores locales quienes lo extraen para sus propios fines. Este efluente no se utiliza directamente para el riego, sino se utiliza para estabilizar el equilibrio hidrológico en esta área. Parte del efluente también se utiliza para recargar los humedales. Debido a los posibles riesgos sanitarios, existen planes de instalar una unidad de tratamiento terciario que permitiría cultivar cultivos de mayor valor (por ej., tomates) con el efluente tratado. Sin embargo, en el futuro inmediato, no es probable que exista un aumento en el uso agrícola del agua regenerada, dado que los agricultores ya se benefician de ella indirectamente.

En resumen, en Gavà-Viladecans y otras partes del delta del Llobregat existen hoy en día pocos usos directos de aguas residuales tratadas en agricultura, aunque el agua regenerada está siendo aplicada para estabilizar el equilibrio hidrológico en el área. (Mapa 2.3)

### 2.1.3. Expansión de la reutilización del efluente en agricultura

En cada una de estas tres áreas, la Agencia Catalana del Agua (ACA) planea expandir la utilización de los efluentes tratados de las plantas de tratamiento para el riego agrícola y otros fines.

La Tabla 2.2 indica que la agricultura de secano se limita al 15% del total de tierras cultivadas, principalmente en el área de Sant Feliu del Llobregat. Los agricultores utilizan agua dulce proveniente del río Llobregat a través del *Canal de la Dreta*, con un caudal anual de aproximadamente 19 hm<sup>3</sup>. El efluente proveniente del tratamiento terciario de la planta de Sant Feliu puede transferirse hacia el *Canal de la Dreta* para ser utilizado en el riego en el costado derecho del delta del Llobregat (Figura 2.1). Normalmente, el caudal para el uso agrícola del agua proveniente del río Llobregat es de 1,5 m<sup>3</sup>/s, pero en períodos de escasez de agua éste se reduce a 0,8 m<sup>3</sup>/s. En esos momentos, los agricultores se ven obligados a utilizar aguas residuales tratadas provenientes de la planta Sant Feliu de Llobregat, que es el único caudal de agua en el *Canal de la Dreta*. Por lo tanto, este efluente se utiliza solo en períodos de sequía (actualmente alrededor de 0,2 hm<sup>3</sup>/año) y, debido a su alta salinidad, se mezcla con agua de pozo con el fin de que el agua alcance una calidad aceptable para el riego.

Se estima que el agua subterránea utilizada por los agricultores en esta área alcanza alrededor de 5 hm<sup>3</sup>/año. Los agricultores en realidad satisfacen una parte importante de sus necesidades de riego a



TABLA 2.2  
Aguas residuales y su reutilización en el delta del Llobregat (2006)

Aguas residuales tratadas (hm <sup>3</sup> /año)	Secundario	120,38	19,10	14,53
	Terciario	4,50	19,10	14,53
Uso efluente tratado (hm <sup>3</sup> /año)	Eliminación en el mar	99,77*	0,0	9,78*
	Recarga del acuífero	0,0	0,0	no
	Humedales	1,5	no	no
	Río Llobregat	3,0	19,42	no
	Riego agrícola	0,0**	0,225	4,74***
Área cultivada (Ha)	Riego con aguas lluvia	58	40	171
		743	235	524
Total agua utilizada en riego agrícola (hm <sup>3</sup> /año)****		6,00	1,78	4,20

\* Efluente con tratamiento secundario.

\*\* Potencialmente a través del canal de regadío derecho (Canal de la Dreta).

\*\*\* A través de los canales del delta. Reutilización ambiental, con un uso agrícola indirecto.

\*\*\*\* No incluye la extracción de agua no registrada.

no: Opción no posible.

través de los acuíferos, pero esto no está totalmente registrado por las autoridades y sólo se hace una estimación del uso adicional de aguas subterráneas en base al equilibrio del acuífero.

En el futuro inmediato, la capacidad de tratamiento de las plantas de depuración no es el principal factor limitante para expandir la reutilización del efluente en agricultura. Hoy en día existe una amplia capacidad en el delta del Llobregat para generar aguas residuales regeneradas, las cuales, actualmente, apenas se usan en el riego agrícola. En el largo plazo, incluso se producirán más efluentes regeneradas, al mejorar las plantas de tratamiento existentes o crearse nuevas plantas.

#### 2.1.4. Intercambio de agua entre sectores

La evaluación de la eficiencia económica del uso del agua regenerada no puede incluir sólo a un sector como la agricultura; se requiere una perspectiva más amplia que considere las ciudades y el medio ambiente. La escala mas adecuada para estas evaluaciones es el de cuenca o sub-cuenca hidrográfica. Una evaluación de este tipo debe asumir los principios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) que considera todos los temas relacionados con el agua y sus interdependencias, en la medida que sea posible.

El Cuadro 2.1 muestra un resumen de la política hídrica del delta del Llobregat, que incluye una serie de soluciones, entre las cuales está la desalinización, el uso adicional de recursos remotos (y, de manera inversa, la reducción de su uso cuando la desalinización del agua de mar se encuentra en operación), el tratamiento tradicional de las aguas residuales y las medidas ambientales para restablecer los acuíferos, recuperar humedales y crear una barrera hidrológica en contra de la intrusión del agua de mar. El reciclaje de las aguas residuales para la agricultura de regadío, tanto directa como indirectamente, a través de medidas ambientales y recarga de acuíferos, se adapta bien a las estrategias de la GIRH.

Los principales proyectos para implementar esta política se enumeran en la Tabla 2.3.

Un proyecto adicional consiste en la construcción de un sistema de ósmosis inversa (OI) en la planta de tratamiento El Prat de Llobregat para refinar más la calidad del efluente y poder utilizarlo en la recarga de los acuíferos y crear una barrera hidrológica contra de la intrusión de las aguas del mar (24 M€).

Todas estas acciones mitigarán los problemas hídricos actuales y futuros en el delta del Llobregat y facilitarán de manera directa e indirecta la regeneración del agua. La reducción de la conductividad (salinidad) de los efluentes de la planta de tratamiento de El Prat y el mejoramiento del tratamiento terciario en la planta de tratamiento de Sant Feliu facilitarán la transferencia intersectorial de agua entre la agricultura y la ciudad.



**CUADRO 2.1**  
**Política hídrica en el delta del Llobregat**

Con el fin de aumentar la disponibilidad de agua en el área metropolitana de Barcelona, se encuentra en construcción una nueva planta de tratamiento para desalinizar el agua de mar con una capacidad de 60 hm<sup>3</sup>/año. Desde 2009, esta agua será extraída a través de una estación de distribución hacia una red de tuberías que abastece de agua potable a Barcelona. Esto no sólo aumentará la disponibilidad de agua, sino además reducirá la conductividad (salinidad) del efluente de la planta de tratamiento El Prat.

La amplia gama de medidas planificadas por la Agencia Catalana del Agua (ACA) incluyen la desalinización de las aguas residuales tratadas provenientes de las plantas de tratamiento, la desviación de las aguas residuales industriales, la desalinización para obtener agua potable y un mayor uso de recursos remotos provenientes del río Ter que tienen una menor conductividad. (Sin embargo, las partes interesadas de la cuenca del Ter están solicitando ahora que se les devuelva parte de sus concesiones de agua, con el argumento de que la nueva planta de desalinización hace innecesario el uso de fuentes remotas). Parte del agua regenerada de la planta de El Prat se utilizará para recargar el acuífero, a modo de barrera hidrológica contra la intrusión de aguas de mar. Todas estas medidas intentan abordar la escasez de agua a futuro en el delta del Llobregat, así como también mejorar la calidad del agua y el estado ecológico de la cuenca del río Llobregat.

El tema de la ACA sobre la gestión integrada de los recursos hídricos es parte de un Programa de Reutilización del Agua en el contexto del Plan Hidrológico de Cataluña para las cuencas interiores. El Programa de Reutilización del Agua tiene un presupuesto planificado de 180 M€ y el objetivo de reutilizar un 20% del total de las aguas residuales tratadas.

TABLA 2.3.

**Acciones planificadas en el delta del Llobregat y en el área metropolitana de Barcelona para mejorar la gestión hídrica**

Acción	Objetivo	Costo de inversión M€
Planta de desalinización El Prat de Llobregat, almacenamiento y tuberías	Mejorar la calidad del agua potable y reducir la salinidad de todo el sistema	420
Desalinización (EDR) en la planta de agua potable de Abrera	Reducir la conductividad del efluente de la planta de tratamiento de Sant Feliu; mejorar la calidad del agua potable	65
Desalinización (OI) del río Llobregat en la planta de agua potable de Sant Joan Despí	Reducir la conductividad del efluente de la planta de tratamiento El Prat; mejorar la calidad del agua potable (especialmente para THM)	60,5
Recolectores de efluentes industriales y de la minería	Reducir la salinidad del río Llobregat	15,5
Desalinización (EDR) en la Municipalidad de Sant Boi de Llobregat*	Reducir la conductividad del agua regenerada desde la planta de tratamiento El Prat para el riego	14,0
Tuberías para reutilización industrial	Reutilización del efluente industrial	1,5
Nuevo tratamiento terciario en Sant Feliu y tuberías*	Reducir la conductividad del agua regenerada para el riego	1,1
<b>Total</b>		<b>577,6</b>

\* Acciones que facilitan directamente la transferencia de agua entre sectores en el delta del Llobregat.

Se pretende utilizar el agua regenerada proveniente de las plantas de tratamiento de El Prat y Sant Feliu para diversos fines (Tabla 2.4).

Como muestra la Tabla 2.4, en un futuro cercano la utilización de las aguas residuales tratadas será cada vez más importante, no sólo para el riego agrícola, sino además para el uso industrial y para mejorar la calidad del agua y de los humedales (Mapa 2.3). Será necesario reducir la conductividad del agua regenerada para que sea más adecuada para el riego agrícola, de esta manera es posible que el agua dulce utilizada actualmente por los agricultores sea intercambiada por aquella agua que sería utilizada por otros usuarios en el delta.

Como se indicó anteriormente, tanto las plantas de tratamiento El Prat como Sant Feliu cuentan con tratamiento terciario. La reutilización agrícola del efluente data del verano del año 2007 cuando un grupo

TABLA 2.4

Uso del agua regenerada con propósitos múltiples, proyectado en el delta del Llobregat para el año 2015

	Planta de tratamiento El Prat de Llobregat hm <sup>3</sup> /año	Planta de tratamiento San Feliu de Llobregat hm <sup>3</sup> /año
Agricultura	11,83	7,32
Caudal del río	10,37	–
Humedales	6,31	–
Barrera para el agua de mar	0,91	–
Municipalidades	–	0,11
Recreación	–	0,37
Industria	5,48	–
<b>Total</b>	<b>34,9</b>	<b>7,47</b>

de agricultores comenzó a utilizar aguas residuales regeneradas mezcladas con agua de pozo. La Agencia Catalana del Agua (ACA) recomendó esta mezcla, con el fin de evitar la degradación a largo plazo del suelo debido a la alta salinidad del efluente. Ninguna de las dos plantas de tratamiento cuenta con un efluente de la calidad suficiente como para ser usado en agricultura, por lo cual se necesitarán medidas adicionales que incluyan la desalinización de los efluentes y la creación de nuevas tuberías para el transporte del agua.

En la medida en que esto suceda, el *Canal de la Dreta* comenzará aguas arriba de la planta de tratamiento de agua potable principal de Barcelona conocida como *Sant Joan Despí*. El uso de agua regenerada en agricultura podría evitar una detracción del agua del río, en unos 19 hm<sup>3</sup>/año, utilizada actualmente para fines de regadío. Esta cantidad estaría disponible para el suministro doméstico de agua, con lo cual se evita transportar agua desde fuentes remotas como el río Ter.

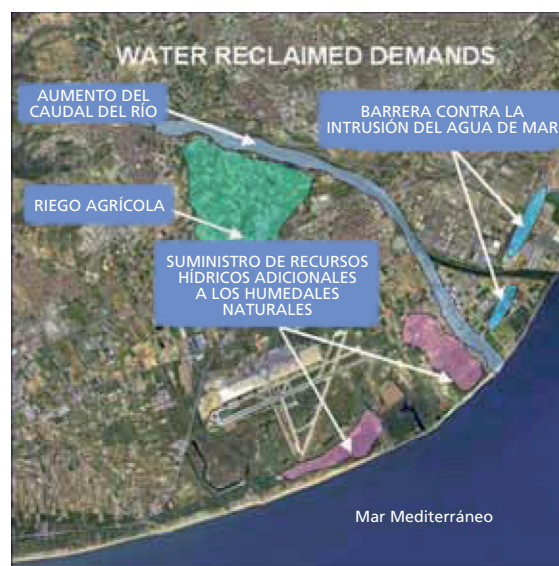
En efecto, el escenario de reutilización podría transformarse en un intercambio hídrico entre sectores, entre la agricultura y el agua metropolitana de Barcelona. Si esto es racional desde el punto de vista económico se analiza en el Capítulo 4 mediante un análisis costo-beneficio. Una pregunta clave es si los agricultores estarían dispuestos a reemplazar el agua dulce por agua regenerada (incluso si ésta es de buena calidad) y cómo se podría fomentar que lo hicieran. Los impactos netos sobre los ingresos de los agricultores sería una consideración fundamental.

## 2.2. ESPAÑA: DELTA DEL TORDERA Y COSTA BRAVA

### 2.2.1. Características del lugar

El delta del río Tordera, al noreste de Barcelona, comienza en el lugar en que el río Santa Coloma se une al caudal principal, y muere en el mar Mediterráneo. Los Mapas 2.4a y b muestran el delta del Tordera y la distribución de los pozos en explotación.

MAPA 2.3  
Demanda de agua regenerada en el delta del Llobregat

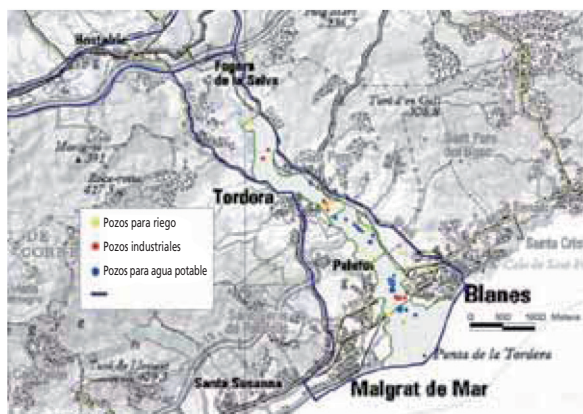


Fuente: Google Maps

MAPA 2.4A  
Distribución de pozos en el delta del Tordera



MAPA 2.4B  
Plantas de tratamiento de aguas servidas



En el área de estudio existen dos plantas de tratamiento, una en la ciudad de *Blanes* y la otra en la ciudad de *Tordera*, ambas con tratamiento terciario. El efluente proveniente de la planta de Blanes (alrededor de 3,5 hm<sup>3</sup>/año) se utiliza principalmente para recargar el acuífero, aunque algunos agricultores también lo utilizan para riego. La planta de tratamiento de Tordera, que produce alrededor de 1 hm<sup>3</sup>/año de efluente regenerado, utiliza humedales artificiales (lagunas de purificación) para su tratamiento terciario. El agua regenerada actualmente está siendo vertida en el río Tordera, dado que las instalaciones de bombeo (alimentadas mediante energía solar y que son necesarias para transportar las aguas residuales hacia los humedales para recargar el acuífero no están funcionando. En este momento, los agricultores no están utilizando agua regenerada del Tordera, a pesar de que existe un canal de regadío.

La Agencia Catalana del Agua ha tomado una serie de medidas para abordar la creciente escasez de agua a nivel regional y la presión sobre los acuíferos locales:

- Construcción de una *planta de desalinización* de agua de mar en 2004 en Blanes. Esta planta suministra casi 10 hm<sup>3</sup>/año a tres plantas de tratamiento de agua potable (Tossa-Lloret de Mar, Blanes y Palafolls, además de las ciudades del norte de El Maresme). Ver el Mapa 2.9. La extracción de las aguas subterráneas con un total de 40 hm<sup>3</sup>/año del acuífero del río Tordera podrían reducirse alrededor de 10 hm<sup>3</sup>/año.
- Mejora de la planta de tratamiento de Blanes mediante la incorporación del tratamiento terciario, con el fin de reducir la descarga de efluente secundario al mar a través de un punto de vertido submarino y producir un efluente de una calidad adecuada para recargar el acuífero del Tordera.
- Creación de un plan para reglamentar las extracciones del acuífero.
- Suministro a los agricultores de agua regenerada para el riego agrícola.

Las áreas agrícolas en torno a las plantas de tratamiento de *Blanes* se encuentran en tres municipalidades: Blanes, Malgrat de Mar y Palafolls, con un total de tierras cultivadas de alrededor de 774 ha, de las cuales 608 mantienen cultivos hortícolas. El agua de regadío se obtiene completamente de las aguas subterráneas, sin recurrir al suministro superficial (el lecho del río Tordera está completamente seco durante los meses de verano, en el momento en que existe la mayor demanda de agua para los cultivos).

La planta de tratamiento de Blanes, que consta de tratamiento terciario, que elimina los nutrientes, produce agua regenerada de una calidad adecuada para recargar el sobreexplotado acuífero del río Tordera. Actualmente, casi todo el efluente se utiliza para recargar las aguas subterráneas a través del lecho del río, con la desviación de un porcentaje mínimo hacia el colector de salida, por lo cual sólo unos pocos agricultores utilizan agua regenerada. De hecho, hasta el año 2006, ningún agricultor utilizaba agua regenerada proveniente de la planta de tratamiento, pero la sobreexplotación del acuífero influyó en que algunos de ellos solicitaran una concesión para utilizar el agua regenerada, dado que sus pozos estaban quedando secos. Dos agricultores formaron una comunidad de regadío denominada *Mas Rabassa* y construyeron tuberías, una estación de extracción y un embalse para captar el efluente. El gobierno de Cataluña financió el 70% de los costos de capital del proyecto; la parte restante fue pagada por los agricultores. Este plan comenzó a operar en el año 2007 y es probable que más agricultores se sumen a esta iniciativa.

Un escenario futuro podría ser un mayor uso de agua regenerada de la planta de tratamiento de Blanes en la agricultura de regadío y el reemplazo por completo de las aguas subterráneas por agua regenerada. Esta opción permitiría a los agricultores ahorrar el costo de extracción de aguas subterráneas, aunque es probable que no reciban el valor fertilizante del efluente, debido a la eliminación de los nutrientes en la planta de tratamiento terciaria. Habría beneficios adicionales para el medioambiente local y para otros usuarios de agua a través del intercambio de derechos de agua por dicho efluente. Esta opción se analiza en el Capítulo 4.

Al oeste de Blanes, se ubica otra planta de tratamiento que entrega agua regenerada al área media de Costa Brava (Mapa 2.5). La planta de tratamiento *Castell-Platja d'Aro*, construida en 1983, comenzó a suministrar agua regenerada a los agricultores de los alrededores en el año 2003. Esta planta genera 5,50 hm<sup>3</sup>/año de efluente, del cual 0,98 hm<sup>3</sup>/año son tratados a un nivel terciario. Este efluente terciario se utiliza para el riego agrícola (0,216 hm<sup>3</sup>/año), riego de campos de golf (0,510 hm<sup>3</sup>/año) y recarga de aguas subterráneas (0,263 hm<sup>3</sup>/año). Lo que resta (3,54 hm<sup>3</sup>/año) del efluente tratado en forma secundaria se vierte en el mar. Los agricultores son principalmente productores de leche que cultivan su propio forraje, junto con cereales de invierno y maíz de verano. El efluente de la planta tratamiento Platja d'Aro es rico en nutrientes, principalmente nitrógeno, el cual es particularmente adecuado para cultivos que demandan una alta cantidad de nutrientes como el maíz. (Mapa 2.5)

### 2.2.2. La finca Mas Pijoan – un microcosmos de reutilización

A continuación se presenta un ejemplo (Cuadro 2.2 y Figura 2.2) del uso de agua regenerada en esta área.

El agricultor en cuestión ya no tuvo que competir por aguas subterráneas con los usuarios residenciales y agrícolas cercanos, lo que provocaba dificultades en períodos anteriores en que había una alta tasa de extracción de aguas subterráneas. La fiabilidad del agua es un beneficio obvio y otros agricultores de las áreas vecinas han demostrado interés en utilizar agua regenerada (Muñoz y Sala 2007). Sólo entre un 30 y un 50% del total del efluente proveniente de la planta de tratamiento Castell-Platja d'Aro es reutilizado, lo que demuestra el potencial que tiene para apoyar en situaciones como en la *municipalidad de Llagostera*, donde las aguas subterráneas se extraen incluso desde profundidades mayores (entre 80 y 120 m), lo cual implica mayores costos de bombeo que en el área de Solius.

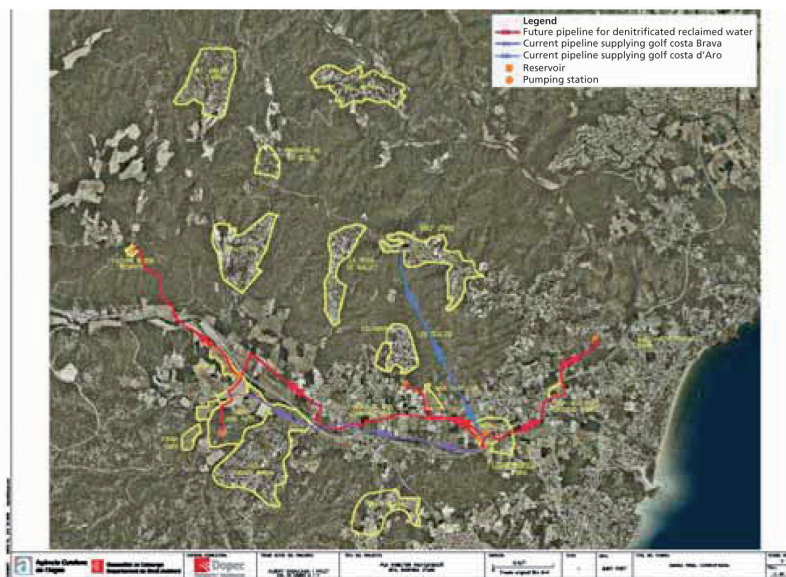
En áreas como éstas, donde el efluente tratado posiblemente es parte de la solución para satisfacer las necesidades de regadío, los futuros planes para la construcción o mejora de plantas de tratamiento deben evaluar cuidadosamente el grado de tratamiento óptimo, por ejemplo en cuanto a la eliminación de nutrientes, dado que un efluente rico en nutrientes puede hacer que la utilización de las aguas regeneradas sea más atractiva desde el punto de vista de la fertilización, pero a la vez puede limitar su uso para otros fines.

### 2.2.3. Opciones para el futuro

En los próximos dos años, la ACA prevé una ampliación de la capacidad del tratamiento terciario de la planta de Platja d'Aro en un 30%, lo que permite llegar a un caudal de 20 000 m<sup>3</sup>/día de su capacidad



MAPA 2.5  
PTAR DE CASTELL-PLATJA D'ARO



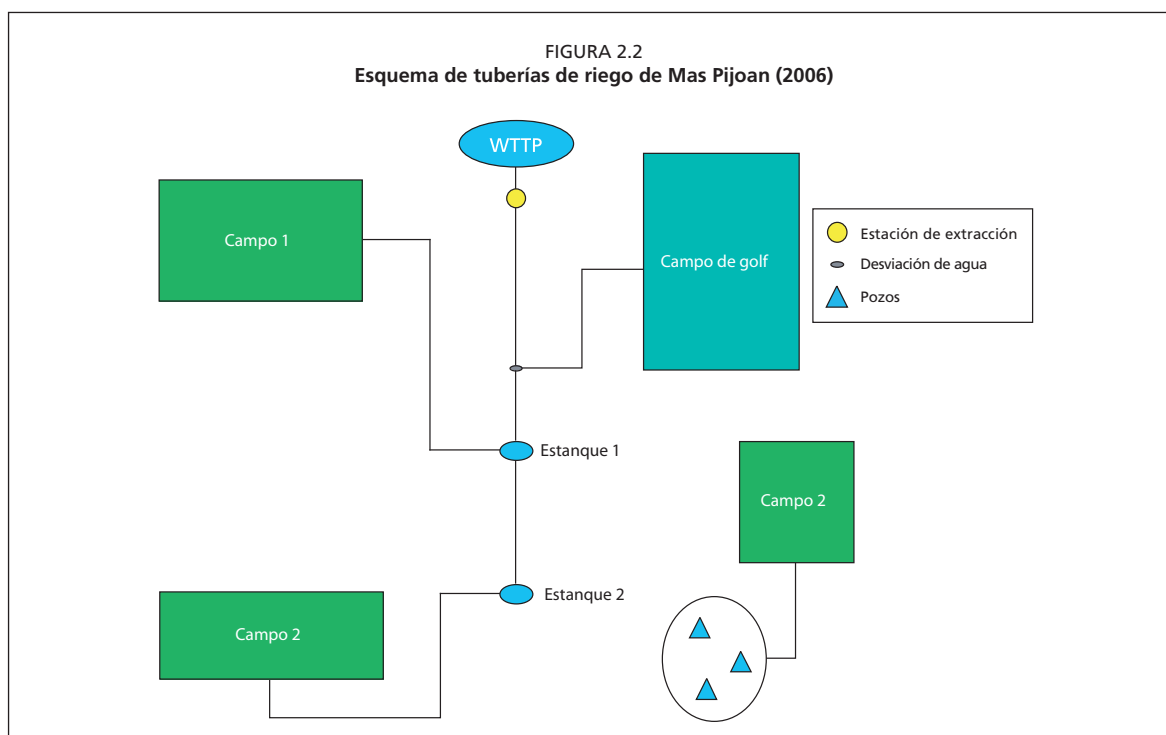
CUADRO 2.2.  
La finca Mas Pijoan

La finca Mas Pijoan utiliza 0,137 hm<sup>3</sup>/año de agua regenerada. La finca se ubica en Solius, una comunidad que pertenece a la municipalidad de Santa Cristina d'Aro. Cuenta con 300 cabezas de ganado en 150 ha, 40 de las cuales son regadas para obtener cebada, centeno y avena para forraje. Hasta 2003, la finca trabajaba con 35 ha regadas gracias al acuífero local. El rendimiento de los pozos al inicio del verano podía llegar a 150 m<sup>3</sup>/h, pero disminuía durante la temporada seca a 20m<sup>3</sup>/h, con lo cual el agua no podía garantizarse en las etapas fundamentales para el crecimiento de los cultivos.

La competencia por el agua en el área siempre fue muy alta. Los gestores de los campos de golf cercanos optaron, en 1998, por el uso de agua regenerada, debido a la recurrente escasez de los suministros de aguas subterráneas y la prohibición de su uso para el riego. La finca Mas Pijoan determinó que conectarse a la tubería de agua regenerada del campo de golf de Costa Brava era una solución razonable (Figura 2.2). El riego del campo de golf se encuentra en operación entre las 9 pm y las 7 am y durante el resto del día el agua es suministrada a la agricultura. El acuerdo entre el campo de golf y el agricultor incluye la operación de una estación de extracción reversible para asegurar que el campo de golf pueda ser abastecido desde el estanque de almacenamiento de Mas Pijoan, con agua de pozo si fuese necesario. El acuerdo ha permitido la confianza mutua y la flexibilidad para ambos usuarios.

El costo de conectar las tuberías existentes al estanque de almacenamiento fue de un 70%, financiado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER). La inversión total privada fue de 80 000 €. El agricultor firmó un contrato de servicio por 25 años para compartir el costo de uso y operación asociado, además del costo de mantenimiento de las tuberías de agua regenerada provenientes del campo de golf.

Entre 2003 y 2006 este acuerdo permitió que el agricultor aumentara su tierra total de regadío de 35 ha a 41,6 ha, debido a la fiabilidad del agua regenerada, que ascendía a 136 000 m<sup>3</sup>/año en 2006, ó 65% de sus necesidades hídricas. El resto del agua utilizada por la finca se obtiene mediante los suministros de aguas subterráneas. En general, la finca se riega parcialmente con agua regenerada, parcialmente con agua de pozo y el resto con una mezcla de ambas.



de diseño. A pesar de que el agua regenerada ha sido utilizada en este distrito desde 1989, cuando se comenzó a regar el campo de golf con este efluente, sólo el 22% del total del agua tratada en la planta se reutilizaba. A pesar del interés que existe entre los posibles nuevos usuarios, la principal limitación es la capacidad actual de tratamiento terciario. Una mayor disponibilidad de efluente tratado sería de gran interés para las dos municipalidades (Castell-Platja d'Aro, Santa Cristina d'Aro), los agricultores en Llagostera y los campos de golf locales.

La ACA ha estado considerando la forma de ajustar la cantidad y calidad de tratamiento de aguas residuales para satisfacer la posible demanda. Una opción consiste en producir dos tipos diferentes de agua regenerada: una sin nutrientes para los campos de golf y las municipalidades y otra con nutrientes para el riego agrícola. La segunda opción consiste en producir sólo un efluente desnitrificado para todos los usuarios. Sin embargo, la primera opción no es económica, debido al alto costo de operar dos líneas de tratamiento en la misma planta, lo cual no se justificaría en términos de los fertilizantes químicos que se ahorran los agricultores.

Una estrategia más realista para Platja d'Aro consiste en aumentar la producción de agua regenerada con una sola calidad de efluente, con la construcción de nuevas estaciones de bombeo, tuberías y depósitos de agua. Si los costos de construcción de estas instalaciones se compartieran con cada uno de los posibles usuarios del efluente, de acuerdo con la proporción de uso esperado, la situación sería como se describe en la Tabla 2.5.

Del total del costo de inversión de alrededor de 7,7 M€, 16% se requeriría para ampliar el tratamiento terciario, 48% para las tuberías y 33% para las instalaciones de almacenamiento.

Como parte del escenario anterior, se ha decidido instalar un sistema de eliminación de nutrientes en la planta de tratamiento de Platja d'Aro. La reducción del contenido de nutrientes del agua regenerada en aproximadamente un 70% disminuirá su valor como fertilizante, aunque los agricultores esperarían aumentar sus ingresos a través de una mayor disponibilidad y fiabilidad del agua. Cambiar el uso de aguas subterráneas por agua regenerada para el riego evitaría (postergaría) la construcción de una

TABLA 2.5  
Costo de inversión de la expansión del uso de agua regenerada en el área de Platja d'Aro

	Agua regenerada requerida hm <sup>3</sup> /año	Costo de inversión** M€
Agricultura	1,263	4,3
Municipalidades	0,288	1,5
Campos de golf	0,658	0,7
ACA*	1,0	1,2
<b>Total</b>	<b>3,209</b>	<b>7,7</b>

\* Dedicada a mejorar el caudal ecológico del río Ridaura.

\*\* Valores aproximados.

nueva tubería para transportar agua desde el río Ter que satisfaga la creciente demanda de agua en esta área de Costa Brava. Estos beneficios y ahorro de costos se analizan en mayor detalle y se cuantifican en el Capítulo 4.

## 2.3. MÉXICO: CIUDAD DE MÉXICO Y VALLE DE TULA

### 2.3.1. Características del lugar

Los distritos de riego de Tula, Ajacuba y Alfajayucan son el resultado del uso durante decenios de las aguas residuales sin tratar de Ciudad de México. Alrededor de 90 000 ha de tierras de regadío, anteriormente con suelos muy pobres, ahora dependen casi de 1 500 hm<sup>3</sup>/año de las aguas residuales sin tratar de Ciudad de México. Sus otras fuentes de agua son parte del caudal del río Tula, una pequeña cantidad de aguas subterráneas y la reutilización de los retornos del riego (el cual a su vez contiene aguas residuales sin tratar). En efecto, Ciudad de México ha venido utilizando estas áreas para el tratamiento natural y eliminación de sus aguas residuales (Mapa 2.6).

La transferencia de aguas residuales sin tratar de Ciudad de México hacia el valle de Tula ha aumentado en más de un siglo. Estas aguas residuales han estimulado la producción agrícola en el valle de Mezquital, zona central de la cuenca del río Tula, en la cual se encuentran los distritos de riego de Tula, Ajacuba y Alfajayucan.

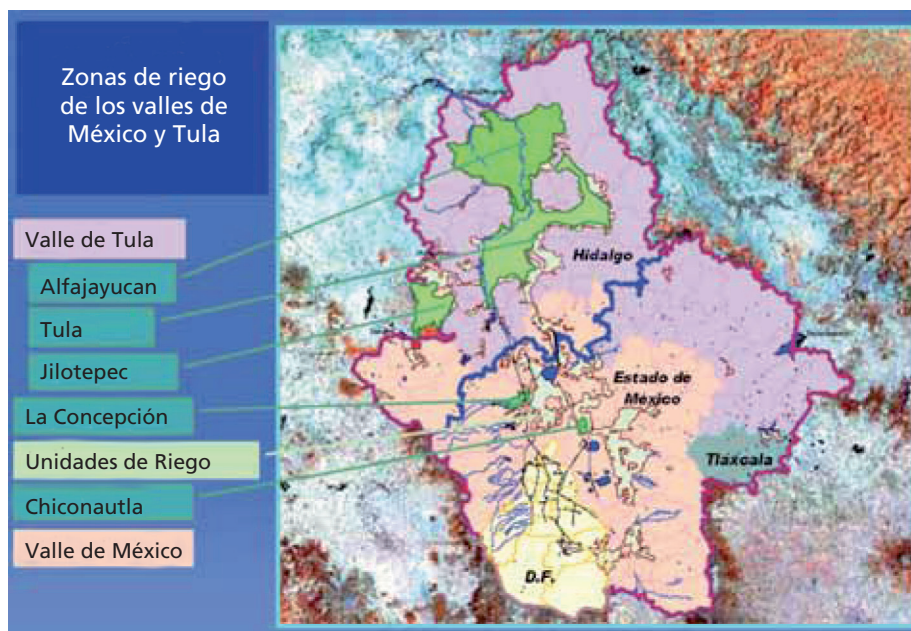
En su recorrido desde Ciudad de México hacia el valle de Tula, la calidad de las aguas residuales va mejorando, debido a los procesos de degradación biológica, fotodisociación, adsorción, absorción, oxidación, precipitación y dilución. Estos procesos explican la *capacidad de autopurificación* del agua cuando fluye desde arroyos y a través del suelo, así como también cuando se almacena en embalses. Sin embargo, pueden surgir problemas sanitarios: los trabajadores que no toman las precauciones necesarias y los consumidores de maíz y alfalfa<sup>1</sup> cultivados con aguas residuales sin tratar se encuentran en riesgo de infección. Considerando estos riesgos, Ciudad de México está planeando construir seis plantas de tratamiento con una capacidad total de 40 m<sup>3</sup>/s, equivalente a 1 261 hm<sup>3</sup>/año, lo cual abarca casi todas las aguas residuales.<sup>2</sup>

El sistema de derechos de uso de agua en forma de dotaciones, asignaciones y concesiones de agua no estipula que el agua tenga una *calidad* específica. Como resultado, ningún distrito de riego puede reclamar legalmente por la calidad del agua que recibe. Más bien sucede lo contrario, pues los agricultores prefieren contar con aguas residuales por la materia orgánica y nutrientes que contienen, la cual les permite aumentar la productividad del suelo sin utilizar fertilizantes o mejoradores del suelo.

<sup>1</sup> En contra de las notificaciones oficiales y de las reglamentaciones.

<sup>2</sup> Actualmente está en construcción la planta de tratamiento de aguas residuales más grande del México, en el municipio de Atotonilco de Tula, Hidalgo, que tratará las aguas negras de ciudad de México y mejorará las condiciones sanitarias de la población de Hidalgo y permitirá utilizar agua tratada en la agricultura (conservando los nutrientes de las aguas residuales pero eliminando los contaminantes), además de facilitar la tecnificación de los sistemas de riego y la producción de cultivos de mayor valor agregado.

MAPA 2.6  
Distritos de riego de Ciudad de México y Valle de Tula



No obstante, todos los vertidos de aguas residuales deben cumplir con la norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece límites máximos de contaminantes que se pueden verter en las masas de aguas nacionales. La Ley Federal de Derechos dispone que quienes vierten aguas residuales que excedan las concentraciones de contaminantes permitidas deben pagar, de acuerdo con el “Principio de Quien Contamina Paga”.

La mayor parte los cultivos en los valles de México y Tula son cultivos industriales y de tallo largo. En el valle de México el plan de cultivos generalmente es de 58% de maíz, 30% de alfalfa verde, 5% de avena para forraje, 2% de pasto, 2% de cebada y el resto, diversos cultivos. En el valle de Tula, el patrón de cultivos típico es de 42% de alfalfa verde, 39% de maíz, 7% de pasto, 3% de avena para forraje, 2% de cebada y el resto corresponde a diversos cultivos. El riego por surcos es el método principal que se utiliza en ambos valles.

La sinergia entre los valles de Ciudad de México y de Tula fue dándose a partir de la necesidad de drenar las escorrentías de la cuenca en que se encuentra la ciudad. Inicialmente, siglos atrás, se limitaba a la descarga de agua dulce desde los caudales de cursos de agua de la ciudad, pero con el tiempo las aguas residuales también pasaron a formar parte de este caudal. Mediante esto último, la ciudad ahorra dinero en cuanto al costo de tratamiento de las aguas residuales urbanas, al mismo tiempo que los agricultores se beneficiaban al aplicarla a la tierra (*tratamiento natural* de las aguas residuales).

Existen beneficios para ambas partes. Ciudad de México ahorra el costo de tratamiento del agua, pero además se libera de los volúmenes de agua excesivos que no puede almacenar y reutilizar dentro del área metropolitana. El Valle de Tula, por su parte, obtiene un beneficio económico al economizar en fertilizantes a partir del uso de aguas cargadas de nutrientes y materia orgánica que mejora sus suelos. Aumenta también la infiltración de agua hacia sus acuíferos, el caudal base de sus cursos de agua y la producción de los manantiales. Por el lado de los efectos negativos, la región de Tula ha experimentado (en 1991) problemas de salud pública entre los trabajadores agrícolas que no utilizan



guantes ni botas, usuarios domésticos de agua que no estaban conectados a los servicios de agua municipales y agricultores que plantaron y vendieron cultivos no autorizados “restringidos”.

Es posible reciclar agua para utilizarla en ciertos procesos industriales y usos municipales en los cuales la buena calidad del agua no es fundamental. Dichas medidas también disminuirían el uso de aguas superficiales y subterráneas. Es más fácil reutilizar el agua en aquellas áreas municipales que tienen redes de distribución de agua por separado: una para el agua potable y otra para las aguas residuales tratadas para evitar el costo de distribuirla a través de camiones cisterna. Algunas municipalidades especifican un cierto orden de preferencia en cuanto a la reutilización de aguas residuales tratadas, lo cual puede anular los incentivos económicos de usar esta fuente.

### 2.3.2. Impactos de la regeneración del agua y su uso en agricultura

La Tabla 2.6 indica el volumen adicional de aguas residuales sin tratar que fluye hacia el valle de Tula desde Ciudad de México. La recarga, por un lado, se debe a la infiltración que se produce cuando se transporta agua a través de ríos y canales sin revestir hacia el valle de Tula y, por otro, a la percolación a través del suelo en las áreas de cultivo. En esta región, las aguas subterráneas se utilizan principalmente para fines municipales, mientras que las aguas superficiales están destinadas a la agricultura de regadío.

El total neto de agua utilizada en agricultura es de alrededor de 749 hm<sup>3</sup>/año, según lo que se entrega en la entrada del distrito de riego.

El agua residual ha sido utilizada para la agricultura de regadío en el valle de Tula por más de un siglo (desde 1890) y no existe una base empírica para una comparación “antes y después” o “con o sin”. Además, el volumen de aguas residuales utilizado y la superficie regada han cambiado continuamente durante este período. Habría que hacer una evaluación bajo condiciones hipotéticas de los beneficios económicos que resultan de la utilización de aguas residuales sin tratar en lugar de agua dulce, en las condiciones especiales que prevalecen en el valle de Tula. En el Capítulo 4, se efectúa una evaluación en base a este criterio.

Se ha realizado una propuesta para devolver las aguas subterráneas hacia Ciudad de México desde los acuíferos del valle de Tula (Jiménez et al., 2004a). Se trataría de agua que ha pasado por los procesos de aireación en ríos, sedimentación en embalses, eliminación parcial de nutrientes que son absorbidos por los cultivos y filtración en el terreno al percolar hacia los acuíferos después de haberse usado en el riego. Sin embargo, propuestas como éstas para el intercambio de derechos de agua entre sectores aún no son viables por razones hidrológicas y legales en México.

En primer lugar, el valle de Tula se encuentra aguas abajo de Ciudad de México y sería prohibitivo extraer agua para que llegue a la ciudad. En segundo lugar, los agricultores del valle de Tula carecen de poder legal para comercializar derechos de aguas subterráneas locales a cambio de aguas residuales tratadas o de cualquier otro beneficio. En el momento en que el agua llega a un curso de agua nacional, su jurisdicción se revierte al gobierno federal que tiene el poder de conceder (y en la práctica ha concedido) el agua a terceros que cuenten con derechos de uso válidos. Un ejemplo es el proyecto hidroeléctrico Zimapán, con una concesión de 839 hm<sup>3</sup>/año (México, 2004 b) de aguas residuales sin

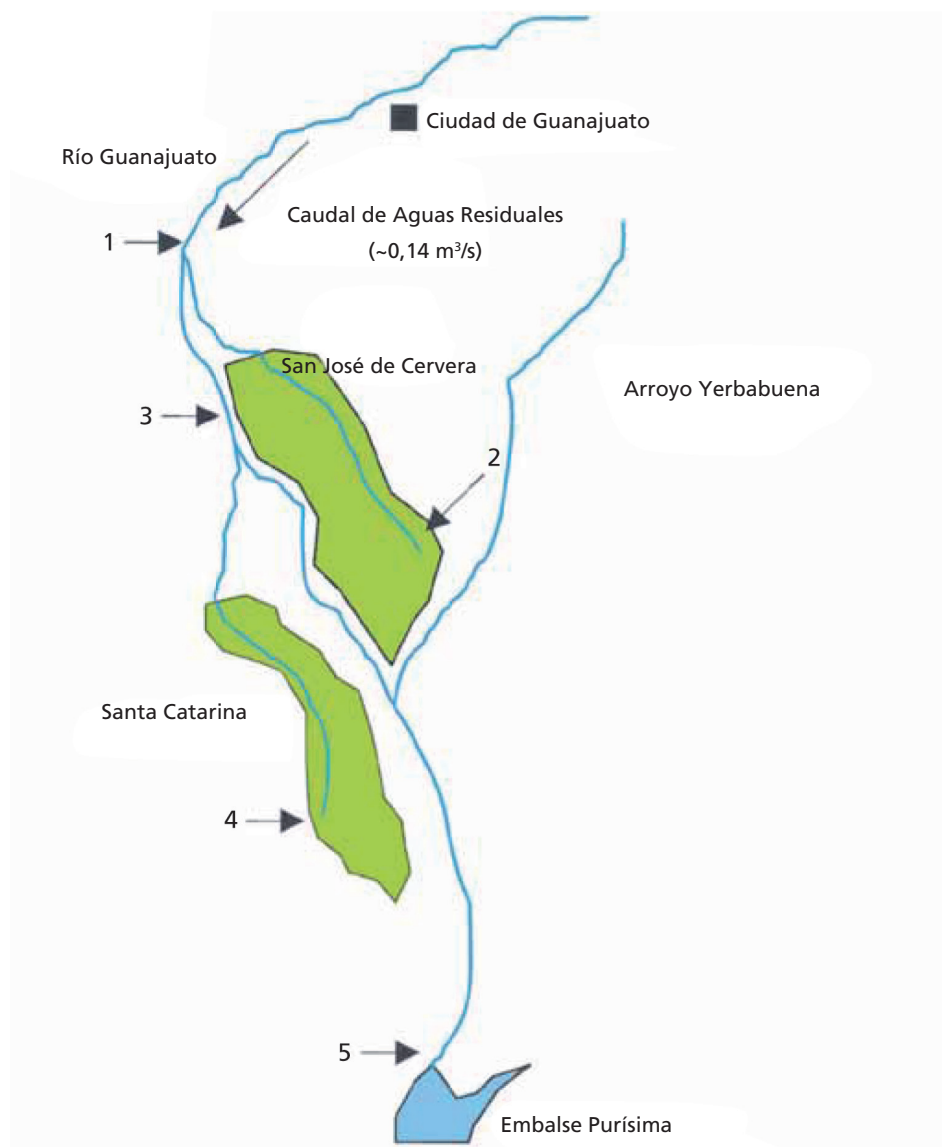
TABLA 2.6.  
Disponibilidad adicional de agua en el valle de Tula debido a las aguas residuales

Origen	Disponibilidad de agua Hm <sup>3</sup> /año	
	Agua superficial	Agua subterránea
Cursos de agua naturales	400,5	—
Recarga natural	—	268,5
Importación de aguas residuales	1.368,7	—
Recarga incidental	—	788,0
Total	1.769,2	1.056,5

tratar, que abarca los retornos del riego además de los cursos de agua provenientes de las lluvias locales. Existen otros derechos aguas abajo en la ciudad de Tampico y más allá. En tercer lugar, los agricultores del valle de Tula tienen derechos legales para recibir las aguas residuales, tratadas o sin tratar, por lo cual es difícil visualizar a cambio de qué se haría el intercambio de aguas subterráneas.

En comparación con Durango, (ver a continuación) en que los agricultores podían reemplazar el uso de agua dulce por agua regenerada, en el valle de Tula las aguas residuales ya son el recurso dominante para el riego. Si bien en Durango es posible demostrar la existencia de beneficios económicos netos significativos gracias a la transferencia de agua entre sectores (ver Capítulo 4), en el valle de Tula faltan opciones para intercambiar derechos de agua por aguas residuales provenientes de Ciudad de México.

MAPA 2.7  
Unidades de Riego Aguas Abajo de la Ciudad de Guanajuato



## 2.4. MÉXICO: PROYECTO DE RIEGO DE CIUDAD DE GUANAJUATO Y LA PURÍSIMA

### 2.4.1. Características del lugar

La ciudad de Guanajuato se encuentra a 300 km al noroeste de la capital Federal. Su acuerdo con el Módulo de Riego La Purísima comenzó como un plan de prevención de las inundaciones (Mapa 2.7). El módulo de riego La Purísima es parte del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma y se ubica aguas abajo del embalse La Purísima. El embalse se construyó para proteger la ciudad de Irapuato que se encuentra aguas abajo, 10 años después de que sufriera una inundación y cinco años después de la creación del módulo de riego.

El plan de cultivos en el proyecto de riego no ha cambiado desde que los agricultores desviaron agua directamente desde el río Guanajuato. Inicialmente, el embalse recibía los cursos de agua de lluvia de la zona alta de la cuenca y las aguas residuales sin tratar de la ciudad de Guanajuato. Recientemente, el embalse ha estado almacenando de manera parcial el efluente tratado proveniente de la ciudad de Guanajuato. En la actualidad, se trata alrededor del 43% de este efluente y se espera que aumente hasta un 90% en el año 2009.

La planta de tratamiento construida en el año 2002 recibe las aguas residuales de la ciudad de Guanajuato y de las áreas metropolitanas ubicadas aguas arriba. La planta vierte alrededor de 4,3 hm<sup>3</sup>/año al río Guanajuato. Pronto estará terminada la primera fase de una segunda planta de tratamiento que tendrá una capacidad de tratamiento de 3,15 hm<sup>3</sup>/año. Los planes para la segunda fase de esta planta agregarían otros 3,15 hm<sup>3</sup>/año de efluentes tratados. Con la implementación de todo el proyecto, el volumen del efluente tratado llegaría alrededor de 10,7 hm<sup>3</sup>/año, más de 90% de las aguas residuales de la ciudad de Guanajuato y de las áreas metropolitanas proyectadas para el año 2010.

Este volumen de agua permitiría la producción de granos en 1 070 ha mediante riego por surcos. El módulo de riego La Purísima tiene derechos de agua por 25,2 hm<sup>3</sup>/año para abastecer un área de alrededor de 4 000 ha. De la capacidad total del embalse La Purísima de 195,7 hm<sup>3</sup>, 85,7 hm<sup>3</sup> están reservados para el control de inundaciones y su capacidad activa se limita a 110 hm<sup>3</sup>. De este volumen de almacenamiento, 25 hm<sup>3</sup> corresponden a sedimentos (capacidad muerta), con lo cual sólo quedan 85 hm<sup>3</sup> destinados al riego. El módulo de riego La Purísima se se riega con el agua almacenada en el embalse del mismo nombre, que se abastece concursos de agua de lluvia, retornos agrícolas o aguas residuales municipales, tratadas o sin tratar.

En el módulo La Purísima, los principales cultivos son: trigo (83%), cebada (11%) y tomatillo (4%). Sin embargo, existe una tendencia a reducir el trigo y producir más cebada, la cual necesita menos agua. El canal principal de riego tiene cota suficiente para permitir el riego por aspersión o incluso producir energía hidroeléctrica a través de minicentrales. Toda el agua utilizada en el módulo de riego La Purísima proviene de fuentes superficiales.

En este caso, como en el valle de Tula, el escenario potencial “en que todos ganan” implica beneficios para los agricultores gracias al uso de aguas residuales cargadas de nutrientes y el beneficio para la ciudad de poder verter las aguas residuales de esta manera. El tratamiento del agua residual de Guanajuato no afecta ni afectaría a la cantidad total de agua que reciben los agricultores, sin embargo si afectaría su calidad. Su principal preocupación será el impacto en su producción al recibir una mezcla de agua mas segura pero con un contenido mucho menor de nutrientes y materia orgánica a causa de la nueva planta tratamiento de aguas residuales, lo que limitaría los beneficios que se obtienen a través del valor fertilizante. En teoría, los agricultores podrían beneficiarse por la libertad de cultivar una gama más amplia de cultivos, con menos riesgos para la salud pública. El aumento progresivo en la proporción de aguas residuales tratadas supone un costo para la ciudad, que ha decidido incurrir en el este gasto, y a la vez los agricultores reciben una mezcla que podría tener menos valor fertilizante que anteriormente, aunque los beneficios para el medio ambiente y la salud pública podrían compensar estas desventajas

Como en el valle de Tula, no existen las condiciones para un intercambio de agua dulce por aguas residuales entre la ciudad de Guanajuato y los agricultores en La Purísima, por diversas razones. En primer lugar, los agricultores no tienen derechos de agua dulce para intercambiar con la ciudad, dado

que su agua proviene del embalse que contiene una mezcla de aguas residuales tratadas o sin tratar y el agua de otras fuentes. Lo que tienen son derechos sobre el agua del embalse, independientemente de su origen o de si las aguas residuales que recibe están o no tratadas. En segundo lugar, la ciudad no tiene alternativa mas que devolver sus aguas residuales al río, tratada como lo exige ahora la ley, y no puede negar su uso a quienes riegan aguas abajo.

## 2.5. MÓDULO DE RIEGO DE LA CIUDAD DE DURANGO Y GUADALUPE VICTORIA

### 2.5.1. Antecedentes

Las negociaciones entre la ciudad de Durango (alrededor de 800 km al noroeste de la capital federal) y la margen izquierda del Módulo de Riego Guadalupe Victoria (parte del Distrito de Riego 052 en el Estado de Durango, ver Mapa 2.8) se iniciaron como respuesta a las recurrentes sequías y se han traducido en un acuerdo que beneficia a ambas partes. (Mapa 2.8)

La margen izquierda del módulo de riego Guadalupe Victoria, contigua a la ciudad de Durango, ha intentado disponer de mas recursos de agua aumentando la capacidad activa

del embalse Guadalupe Victoria. Esto finalmente terminó en el año 2006 con el aumento de la altura de la cresta del canal de desagüe, lo que permite el almacenamiento de 10 hm<sup>3</sup> adicionales de agua. Antes de esto, existía un acuerdo para que los usuarios de riego usaran las aguas residuales tratadas de la ciudad, provenientes de una planta de tratamiento que inició sus operaciones en el año 1995. En el año 2000, se

MAPA 2.8  
Módulo de Riego de la Ciudad de Durango y Guadalupe Victoria



Fuente: Google Maps

instaló una tubería con interconectores desde las lagunas de aireación de la planta de tratamiento hacia el canal principal de la margen izquierda, proveniente del embalse Guadalupe Victoria.

En el presente, se ha considerado la posibilidad de que la ciudad de Durango adquiera derechos sobre aguas superficiales que originalmente habían sido otorgadas bajo la forma de una concesión para la agricultura de regadío, a cambio de aguas residuales regeneradas que serían utilizadas por los agricultores. Dicho intercambio de derechos de uso del agua traería una serie de beneficios: el acuífero dejaría de ser sobreexplotado, la municipalidad obtendría agua de buena calidad a un costo menor, se ahorraría energía al reducir el bombeo desde el acuífero y los usuarios del riego recibirían nutrientes biodegradables para sus cultivos.

### 2.5.2. Características del lugar

El Distrito de Riego 052 del Estado de Durango tiene un área 18 504 ha y derechos de uso de agua de 134 hm<sup>3</sup>/año. El módulo de riego Guadalupe Victoria contiguo a la ciudad de Durango tiene un área de 9 400ha, alrededor de 2 775 en la *margen izquierda* y 6 625 en la margen derecha. La margen izquierda, con 504 usuarios de riego, es la zona del módulo de riego más cercana a la ciudad de Durango.. Además, existen 167 agricultores repartidos en 663 ha con derechos no oficiales y precarios que reciben el servicio de riego sólo cuando existe superávit de agua. Este estudio se limita a la margen izquierda del módulo de riego, ya que es la única que utiliza aguas residuales (entre otras fuentes) y que se encuentra en condiciones de intercambiar sus derechos con la ciudad de Durango.

La margen izquierda tiene derechos de agua por 63 hm<sup>3</sup>/año, que provienen de los cursos de agua del río Tunal y que se almacenan en el embalse Guadalupe Victoria. Este embalse fue construido en 1962 con una capacidad nominal de 80 hm<sup>3</sup> y una capacidad activa de 65 hm<sup>3</sup>. En 2006, la capacidad total aumentó a 93 hm<sup>3</sup>, de la cual 11,9 hm<sup>3</sup> está reservada al control de las inundaciones y 4 hm<sup>3</sup> es capacidad muerta, con lo cual quedan 77,1 hm<sup>3</sup> como capacidad activa.

La ciudad de Durango tiene una población de alrededor de 526 700 habitantes y el agua potable proviene de 61,3 hm<sup>3</sup>/año de aguas subterráneas. Su acuífero se está quedando vacío: algunas décadas atrás, los 76 pozos perforados en el valle de Guadiana extraían a una profundidad de 30 a 40 m; actualmente, por el contrario, la extracción se produce entre 100 a 120 m, a una profundidad en que el agua tiene mayores concentraciones de sales y minerales. Se estima que la tasa de agotamiento del acuífero es del orden de 30 centímetros al año y la sobreexplotación actual es de 34,91 hm<sup>3</sup>/año.

Los principales cultivos producidos en el módulo de riego Guadalupe Victoria son maíz, con un 56%; sorgo, 18%; frijoles, 13%; alfalfa, 8% y avena, 5%. A pesar de que 63 hm<sup>3</sup>/año de la concesión de aguas superficiales es suficiente para abastecer alrededor de 6 000 ha cultivadas con granos básicos que utilizan riego por surcos, ha habido algunos períodos de escasez de agua que han llevado a los agricultores a utilizar el efluente proveniente de la ciudad de Durango.

La ciudad está autorizada a verter 48,25 hm<sup>3</sup>/año de efluente de aguas residuales a los ríos Saucedo y Durango. En enero de 1998, los servicios de agua y saneamiento de la ciudad de Durango comenzaron a operar una planta de tratamiento de aguas servidas con una laguna de aireación con una capacidad de 63,1 hm<sup>3</sup>/año que había estado tratando en promedio 48,25 hm<sup>3</sup>/año, la cantidad autorizada. La planta, con seis lagunas de 200 x 100 x 4,5 m y un embalse de 400 x 300 x 1,5 m, tiene la capacidad de tratar de manera primaria toda el agua utilizada para fines municipales en la ciudad de Durango y para satisfacer alrededor del 76,3% de los requerimientos de agua de las áreas de regadío vecinas.

En el año 2000, se construyó una tubería con interconectores entre la planta de tratamiento de aguas servidas y el canal principal izquierdo desde el embalse Guadalupe Victoria para transportar alrededor de 10 hm<sup>3</sup>/año de aguas residuales tratadas hacia el módulo de riego. Esto sirvió de base para un acuerdo informal entre los servicios municipales y los agricultores del módulo de riego Guadalupe Victoria<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> El fundamento legal de este acuerdo no es claro: los poderes constitucionales de la municipalidad para otorgar una concesión de este tipo son inciertos y fue establecido sin la aprobación de la Comisión Nacional del Agua.



MAPA 2.9

**Red entre la planta de desalinización de Blanes y el proveedor de agua en el delta del Tordera**



Actualmente, se estima que el módulo de riego Guadalupe Victoria utiliza alrededor de 14 a 18 hm<sup>3</sup>/año de las aguas regeneradas provenientes de la ciudad, lo que es más de la cantidad estipulada en el acuerdo.

### 2.5.3. Potencial de los intercambios de agua entre sectores

El módulo de riego Guadalupe Victoria actualmente utiliza agua proveniente de diversas fuentes: agua dulce del embalse Guadalupe Victoria, aguas subterráneas del acuífero del valle de Guadiana, el efluente tratado desde la ciudad de Durango y aguas residuales urbanas sin tratar desviadas desde el arroyo Acequia Grande. La calidad del agua tanto de la planta de tratamiento de aguas servidas como del arroyo Acequia Grande excede la cantidad de coliformes fecales permitidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1996) de vertido de aguas residuales a masas de agua dulce. Sin embargo se encuentran dentro de los límites permitidos por la norma NOM-002-ECOL-1996 que se aplica a los cultivos para forraje y de tallo largo, e incluso para los pastos, siempre que exista un intervalo entre el riego y el pastoreo de 14 a 20 días. La DBO del efluente de la planta tratamiento (entre 50 a 90 mg/l) se encuentra dentro de la norma de 150 mg/l. La municipalidad de Durango está planeando la construcción de una segunda planta tratamiento de aguas servidas en la zona sur de la ciudad.

Un escenario posible consiste en usar parte de las aguas superficiales almacenadas en el embalse Guadalupe Victoria para satisfacer los requerimientos municipales, con lo cual se evita la actual

sobreexplotación del acuífero del valle de Guadiana. Actualmente, la asignación de agua potable de la ciudad ( $61 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) representa prácticamente la totalidad de la recarga anual del acuífero. Se podría facilitar la situación a través de un acuerdo de abarcar al menos  $10 \text{ hm}^3/\text{año}$  de los requerimientos de agua potable con los cursos de agua superficiales almacenados en el embalse Guadalupe Victoria y abastecer al menos  $10 \text{ hm}^3/\text{año}$  de las aguas residuales urbanas tratadas hacia el módulo de irrigación Guadalupe Victoria. La ciudad mantendría una pequeña cantidad de pozos (10 a 15) para uso industrial.

Desde el punto de vista de los agricultores, el uso de agua regenerada ha permitido un aumento (hasta de un 30%) de la producción de maíz, alfalfa y avena en comparación con la opción alternativa, con un ahorro de hasta un 50% del costo de fertilizante. Esto indica el alcance de los posibles beneficios para los agricultores gracias al acuerdo. Sin embargo, los intentos de los servicios de agua de Durango para recuperar los costos de tratamiento de los agricultores (que se estima en  $320\,000\$/\text{mes}$ ) no han fructificado. Han surgido dos dificultades. La primera dificultad es que no existe una base legal adecuada para cobrar a los usuarios agrícolas, dado que la ciudad debe tratar sus aguas residuales, se reutilicen posteriormente o no. En segundo lugar, no existe una alternativa de evacuación viable para el efluente, dado que la ciudad de Durango no puede desviar el curso natural del río, tampoco puede retener aguas residuales y otorgar derechos de uso de agua a nadie en ningún lugar. Es más, tampoco ha tenido éxito una propuesta para una planta de energía térmica en la región con la opción de utilizar aguas residuales para fines de enfriamiento.

#### 2.5.4. Posibilidades de largo plazo

El actual acuerdo descrito anteriormente implica un uso limitado del efluente por parte de los agricultores, sujeto a un acuerdo informal de  $10 \text{ hm}^3/\text{año}$ , aunque en la práctica es más que eso. Sin embargo, en el largo plazo, un acuerdo viable podría abarcar prácticamente toda el agua requerida por ambas partes, en que las aguas municipales serían suministradas en su totalidad gracias al embalse y todas las aguas regeneradas serían utilizadas en agricultura de regadío. Como se indicó, el módulo de riego Guadalupe Victoria completo tiene una concesión de aguas dulces superficiales de  $63 \text{ hm}^3/\text{año}$  y la ciudad de Durango una asignación de aguas subterráneas de  $61 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

La segunda planta de tratamiento de aguas servidas que se ha planificado aumentaría el volumen disponible de aguas residuales. La tubería con interconectores necesitaría alargarse y extenderse para servir a toda la superficie bajo riego del módulo Guadalupe Victoria que abarca  $9\,399 \text{ ha}$  y también sería necesario un estanque de regulación. No se espera recuperar ninguno de estos costos de los agricultores, dado que a la ciudad se le exige legalmente cubrir los costos de saneamiento.

En una perspectiva de más largo plazo, existe la posibilidad de aumentar la eficiencia del uso de agua para regadío a través del riego por goteo, aspersores, el uso de sistemas de movimiento lateral o pivote central y otros métodos. El mayor uso de invernaderos y cambios en los planes de cultivo traerían beneficios a los agricultores y facilitarían su adaptación al cultivo de alimentos bajo condiciones de escasez de agua y competencia por el uso del agua.

### 2.6. RESUMEN GENERAL FINAL DE LOS ESTUDIOS DE CASO

La Tabla 2.7 muestra un resumen de los cinco estudios de caso, con una evaluación preliminar del potencial de reutilización en agricultura del efluente tratado y la probabilidad de que los agricultores intercambien sus derechos de agua dulce a cambio de agua regenerada.

*Problemas.* La creciente escasez hídrica es un problema en tres de los lugares; la contaminación de los ríos, en tres y el déficit del acuífero, en cuatro. No obstante, los problemas de salud pública no han sido importantes, aparte de un episodio aislado en el valle de Tula en 1991.

*Uso actual del agua residual.* En los casos españoles, el efluente sólo se utiliza en agricultura durante los años de sequía, diluido con aguas subterráneas. Sin embargo, se utiliza de manera indirecta a través de la recarga del acuífero. En los casos mexicanos, el efluente sin tratar se utiliza a gran escala en el valle de Tula y las aguas residuales tratadas son utilizadas (diluidas, en uno de los casos) en los otros dos lugares.

*Disponibilidad del agua regenerada para una posterior reutilización.* Todos los lugares han aumentado su capacidad para regenerar agua. Algunos han aumentado su capacidad recientemente y otros tienen planificado aumentarla o están bajo implementación.

*Grado de tratamiento de las aguas residuales.* En los ejemplos españoles las aguas residuales se tratan hasta un nivel terciario (a excepción de una planta de tratamiento que las trata hasta un nivel secundario), en cumplimiento con las directivas de la Unión Europea. El programa actual de Ciudad de México de invertir en plantas de tratamiento de aguas residuales se basa en tratamiento terciario, mientras que en Durango actualmente se tratan las aguas residuales a un nivel primario y en Guanajuato a un nivel secundario.

*Viabilidad de reutilización del efluente en agricultura.* Se refiere a cualquier razón de índole técnica, legal o de salud pública que afecte la reutilización del efluente, incluida la disponibilidad de infraestructura para transportarlo hacia los usuarios objetivo. La reutilización del efluente en agricultura parece ser viable en todos los lugares, sujeta a restricciones de productos según las condiciones operacionales requeridas por razones de salud pública y ambientales.

*Potencial de intercambio entre sectores de derechos de agua por agua regenerada.* Todos los lugares tienen el potencial de lograr acuerdos “en que todos ganan” (en algunos casos ya se ha logrado) entre las ciudades, agricultores y el medioambiente que implican el uso de agua regenerada. En relación con el tema específico de intercambio de los derechos de agua de los agricultores por agua regenerada proveniente de las ciudades, la situación descrita en este capítulo es muy variada. En los casos españoles, existe una mayor posibilidad de lograr la reutilización de agua regenerada para fines medioambientales que directamente para uso en agricultura, a pesar de que existe alguna posibilidad de usarla en este sector. En México, el potencial de intercambio se visualiza claramente en Durango. En los otros dos casos, los agricultores ya hacen un uso extensivo del agua residual, en un caso mezclada con agua

TABLA 2.7  
Resumen estudios de caso

	Llobregat	Tordera Delta	Ciudad de México/V. de Tula	Guanajuato	Durango
Problemas:					
– escasez de agua	Sí	Sí	No	–	Sí
– contaminación de los ríos	Sí	–	Sí	Sí	–
– déficit de los acuíferos	Sí	Sí	Sí	–	Sí
– salud pública	–	–	No	–	–
Uso actual del efluente para:					
– agricultura	Solo emergencia <sup>1</sup>	Mínimo	Alto	Alto (diluído)	Moderado
– medio ambiente/acuífero	Alto	Moderado	Moderado	–	–
– otros (por ej., golf)	–	Moderado	–	–	–
Disponibilidad del efluente (alta, baja, ninguna)	Alta	(planificada) Alta	Alta	En aumento	En aumento
Grado de tratamiento de las aguas residuales (sin tratar=0, primario = 1, secundario =2, terciario =3)	3 (2 en Gava-Viladecans)	3	0* (pero se planea una alta inversión en tratamiento)	2	1
Viabilidad (técnica, legal, sanitaria) de la reutilización del efluente en agricultura.	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Potencial de intercambio intersectorial de derechos de agua entre las ciudades y:					
– agricultura	Moderado	Moderado	Moderado	Bajo	Alto
– medioambiente	Alto	Alto	Moderado	Bajo	Moderado
– otros	–	–	Moderado	Bajo	–

Nota: se entrega una explicación adicional de las categorías y opciones en el texto.

\*12% es 3.

<sup>1</sup> Se usa indirectamente en Gava Viladecans para la recarga de los acuíferos.



proveniente de otras fuentes. Este acuerdo continuará siendo parte de los planes de tratamiento y vertido de aguas residuales de las dos ciudades, acuerdo que están obligadas legalmente a cumplir y que ofrece beneficios continuos a los agricultores.

## Capítulo 3

# Una metodología económica para evaluar la viabilidad de la utilización de agua reciclada en agricultura

*Se asume que los lectores de este capítulo están familiarizados con el análisis de costo-beneficio (ACB) utilizado por economistas aplicados, ingenieros civiles, municipales y agrónomos, especialistas en salud pública y profesionales de otras disciplinas relacionadas con el tema de este informe.*

*El capítulo no parte de cero, sino más bien explica aquellas características específicas del análisis costo-beneficio que son pertinentes para este informe y aborda algunos temas que hacen difícil su aplicación. En la medida de lo posible, el texto utiliza un lenguaje simple y claro, evita jergas y toda notación matemática innecesaria.*

*Se puede encontrar orientación adicional acerca de aspectos específicos del análisis costo-beneficio en el Anexo de este capítulo, con referencias entre paréntesis (por ej. 3A3) en el texto principal.*

### 3.1. INTRODUCCIÓN: UN ENFOQUE EN TRES NIVELES

Los proyectos y programas de regeneración y reutilización de aguas requieren una *justificación económica*, deben ser *costo-eficaces* y *financieramente viables*. Este capítulo explica cómo pueden aplicarse en la práctica estos tres criterios.

La justificación económica se llevará a cabo utilizando un análisis *costo-beneficio* por parte de un organismo que actúe representando el interés público general y aplicando los principios de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Dicho organismo hipotético podría ser una autoridad nacional o una autoridad hídrica regional<sup>1</sup>, quien tendrá que evaluar si el proyecto “vale la pena” desde el punto de vista del costo y del beneficio. En muchos aspectos, la unidad territorial más adecuada para el análisis es la cuenca hidrográfica, dado que considera el ciclo del agua en su totalidad e intenta optimizar el recurso agua para sus principales usos, es decir, el uso doméstico, el riego, la navegación, el uso industrial, la generación de energía, el uso ambiental (flora y fauna silvestre) y otros usos ambientales coherentes con la GIRH.

El informe considera un segmento en particular de todo este espectro, a saber, aguas residuales municipales que pueden ser tratadas y usadas por los agricultores o para la recarga de acuíferos (lo cual crea una barrera hidráulica en contra de la intrusión salina en las costas). Los principios explicados en este capítulo podrían utilizarse de igual forma en el análisis de otros proyectos de gestión del ciclo del agua, como el reciclaje de los retornos del riego que se devuelve a la agricultura o la reutilización de aguas residuales urbanas para fines urbanos o industriales.

Una vez que se demuestra que vale la pena llevar a cabo un proyecto, sobre la base de que sus beneficios son mayores que sus costos, el siguiente paso consiste en comprobar que sea *costo-eficaz*, es decir, que logre sus objetivos a un mínimo costo<sup>2</sup>. Esto implica un análisis del proyecto en relación

<sup>1</sup> Las instituciones sub-nacionales pueden quedar “atrapadas” por intereses locales, regionales o sectoriales y, por ende, es posible que no representen el “interés nacional”. En ambos países representados por los estudios de casos, España y México, las regiones son autónomas y tienen un poder considerable en relación con otras regiones del gobierno central. En ambos países, el agua es un tema que despierta fuertes sentimientos regionales. Éste será un tema importante a considerar para la evaluación de la viabilidad financiera, aunque el supuesto de “interés nacional” sigue siendo una parte fundamental de la justificación económica, especialmente cuando participa el gobierno central o existe financiamiento externo.

<sup>2</sup> O costos que son aceptables o asequibles para el público.

con otros proyectos alternativos que lograrían los mismos objetivos. Los estudios de caso examinados en este informe (Capítulos 2 y 4) muestran el menor costo que tiene el proyecto preferido (reutilización) en relación con la siguiente mejor alternativa y presenta el resultado como un *costo evitado* del proyecto preferido.<sup>3</sup>

El obstáculo final que afronta la evaluación de un proyecto, una vez que se ha demostrado que vale la pena realizarlo y que es costo eficaz, consiste en considerar su *viabilidad financiera*. Esto lleva el análisis a una esfera diferente, en que se consideran los intereses específicos de las partes implicadas, que son: gobierno central, agencias regionales del agua, servicios públicos municipales, agricultores, etc. Los principales elementos del análisis son:

- Evaluación del efecto del proyecto sobre el estado financiero de las partes, que incluye la identificación de los principales ganadores y perdedores y estimaciones de sus ganancias/pérdidas. Debe incluir una estimación de las implicaciones financieras del proyecto en los presupuestos y capital público. Esta parte del análisis sirve de base para comprender los incentivos de las partes interesadas, especialmente los agricultores, para apoyar o negarse al proyecto.
- Propuestas de transferencias e instrumentos financieros para crear condiciones equitativas para hacer que el proyecto sea aceptable y ofrecer incentivos adecuados a las partes interesadas. Esto incluye una valoración del alcance y modalidades de las tarifas de agua y otros cobros, o bien, de manera inversa, subsidios y mecanismos financieros innovadores, como pago a agricultores por servicios ambientales.
- Finalmente, considerando lo anterior, se deben hacer propuestas para financiar el proyecto, que consideren las diversas fuentes de financiación disponibles y la solución más apropiada para el caso específico.

### 3.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA: ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO (ACB)

La evaluación económica de proyectos es una herramienta para tomar decisiones en la asignación de recursos escasos. Es un método para evaluar y comparar propuestas<sup>4</sup> de manera sistemática, usando criterios objetivos y racionales. Puede aplicarse a un acto de inversión único y bien definido (*un proyecto*), un grupo o serie de proyectos (*un programa de inversión*) o incluso una *política* o parte de una *legislación*. También puede utilizarse para justificar partidas específicas del gasto corriente. Las condiciones necesarias para una evaluación económica son que la propuesta tenga límites claros, que sus efectos sean identificables y que el conjunto de costos y beneficios sea cuantificable y posible de valorar.

La mayoría de las evaluaciones económicas utilizan un análisis *costo-beneficio*. Como su nombre indica, identifica y compara los costos y beneficios esperados de la propuesta y ofrece una regla de decisión (los beneficios deben ser mayores que los costos) y un criterio para comparar y clasificar propuestas: la magnitud de los beneficios netos (*Valor Actual Neto*). Este último también puede ser expresado como una Relación Costo-Beneficio.

El ACB se basa en ciertos conceptos básicos:

- Siempre existen *alternativas*. El analista debe asegurarse de que se han considerado otras soluciones y que la propuesta examinada es la mejor disponible. La propuesta debe ser la más *eficaz* para el logro de los objetivos del proyecto y/o la más *viable* (por ej., práctica, oportuna, aceptable), así como la más *costo-eficaz* de las opciones disponibles. Idealmente, el ACB analizará las opciones alternativas y elaborará una clasificación sobre la base de sus respectivos beneficios

<sup>3</sup> Es importante recalcar que en este contexto, dicho costo evitado sólo es un criterio válido si vale la pena realizar el proyecto preferido como primera opción. El costo evitado es irrelevante, si se considera el ACB.

<sup>4</sup> En el resto de este informe, se pueden utilizar indiferentemente los términos propuestas, proyectos e inversiones.

netos. Cuando no sea viable, (en el caso típico de una decisión sí/no de un proyecto), se deben considerar preliminarmente las alternativas obvias (ver a continuación).

- *Hacer nada* es una opción a considerar. Los costos y beneficios netos de la propuesta deben compararse cuidadosamente con los efectos de “no hacer nada”. Esto puede significar lo que literalmente se dice, pero es más probable que implique un nivel mínimo de actividad o una continuación de la trayectoria actual (“seguir como siempre”). El *escenario sin proyecto* es el punto de referencia con el cual se compara el proyecto. Si este escenario se establece en forma errónea, los argumentos para el proyecto fallarán.
- Los recursos utilizados en el proyecto normalmente tienen usos alternativos. Se debe calcular el *costo de oportunidad* de la inversión, que es el valor que tiene para la sociedad su mejor uso alternativo. Incluso recursos que actualmente no son utilizados, tierras improductivas o trabajadores desempleados temporalmente, tienen un costo de oportunidad positivo si se analiza desde una perspectiva más amplia.
- El análisis costo-beneficio es una herramienta de decisión *cuantitativa*. Los costos y beneficios deben cuantificarse lo mejor posible. Deben expresarse en unidades comunes para lograr rigurosidad, objetividad y coherencia. No todos los costos y beneficios pueden cuantificarse o valorarse, y por eso la presentación de los resultados debe ser clara y hacer mención expresa a los ítems no cuantificados y su importancia, lo cual puede ser decisivo. Esto se aplica especialmente a los efectos en la salud pública y al valor recreativo de los lugares naturales y otros servicios ambientales.
- La consideración del *tiempo* es esencial en el ACB, especialmente para aquellos activos de larga duración y/o flujos de beneficios y costos que se extienden en el futuro, como los sistemas de riego, plantas de tratamiento de aguas residuales y otra infraestructura hídrica. Es fundamental tener en cuenta cuándo se dan los costos y los beneficios asociados al proyecto y comparar adecuadamente estos flujos. También es crucial el uso de la *tasa de actualización*, que refleja lo que el capital empleado en el proyecto podría generar en usos alternativos.
- El punto de vista adoptado en este informe es el de un organismo que ofrece servicios hídricos integrados a una serie de usuarios (que incluye el medioambiente), en oposición a un operador de un sistema aislado. Este organismo tendrá interés en conocer el efecto de una nueva inversión sobre sus operaciones totales, en lugar del flujo de caja de los sistemas considerados de manera aislada. El beneficio total de regenerar y reutilizar agua será diferente en cada situación, pero generalmente será una mezcla entre los costos evitados y los nuevos beneficios<sup>5</sup>.

En los casos en que la demanda de agua tenga una tendencia creciente, la reutilización de aguas residuales tratadas permite intercambiar agua dulce para nuevos fines: municipales, industriales, expansión de la agricultura de regadío o para diversos fines ambientales. Estos son los *nuevos beneficios*.

Una demanda creciente en un entorno de escasez de recursos hídricos resultan en el agotamiento de los acuíferos o en demandas no satisfechas (déficits hídricos). Los estudios de casos de este informe parten de esta situación, donde es muy probable que el agua dulce “liberada” o intercambiada por los proyectos de reutilización sea utilizada para otros usos<sup>6</sup>. En esta situación lo más común es que los beneficios consten de una mezcla de costos evitados y de nuevos beneficios. El tipo de beneficios y la magnitud de cada uno de ellos depende de los supuestos considerados en cuanto al aumento de la demanda de agua para estos diversos usos.

<sup>5</sup> Un costo evitado se considera un beneficio.

<sup>6</sup> Incluso si no se toma una decisión consciente en cuanto a la conservación, una menor extracción de agua proveniente de masas superficiales o aguas subterráneas aumentará la retención de agua en los acuíferos o aumentará el nivel de los ríos. Estos efectos podrían crear beneficios ambientales.

### 3.2.1. Beneficios (ver también 3A6)<sup>7</sup>

Los principales tipos de beneficios que pueden esperarse de la reutilización de aguas residuales tratadas son:

- **Costos evitados de extracción, transmisión, tratamiento y distribución de agua dulce.** Estos costos evitados incluyen los costos recurrentes y de capital en los que incurrirían, por un lado, las autoridades públicas responsables del suministro de agua a los regantes o, por otro, los agricultores que extraen sus propios suministros. Los agricultores pueden evitarse el costo de extracción de aguas subterráneas, dado que utilizaran aguas residuales (tratadas) como alternativa, aunque de igual manera necesitarán efectuar algún tipo de bombeo para operar sus dispositivos de riego, como en el caso del riego por goteo. Los agricultores también pueden beneficiarse al extraer a profundidades menores, cuando el agua regenerada se utiliza para recargar el acuífero.
- **Ahorro en el costo del fertilizante debido al contenido de nutrientes de las aguas residuales.** La materia orgánica, nitrógeno y fósforo presente en las aguas residuales han demostrado tener efectos positivos sobre la productividad de los cultivos y ahorra en costos de fertilizantes artificiales<sup>8</sup>. Estos beneficios se reducirían si hay normas de tratamiento que obligan a eliminar algunos de estos nutrientes. Sin embargo, no siempre todos los nutrientes presentes en las aguas regeneradas pueden ser utilizados por el cultivo, resultando en un exceso de nutrientes que puede causar contaminación. Además pueden existir efectos colaterales indeseados relacionados con la salinidad del suelo o la acumulación de metales pesados, lo cual debe registrarse en el lado de los costos (ver a continuación).
- **Ahorro en el costo de tratamiento de las aguas residuales.** Este ahorro se da si no se eliminan los nutrientes del efluente sino que se dejan para fertilizar los cultivos. Sin embargo en otras situaciones, es posible que sea necesario aumentar el nivel de tratamiento con el fin de que sean aceptables para ser reutilizadas. Esto depende de la calidad original de las aguas residuales y el nivel de tratamiento preexistente.
- **Mayor fiabilidad en el suministro de las aguas residuales,** en comparación con otras fuentes. Aunque esto no siempre puede garantizarse, un déficit en el suministro de agua a la ciudad en caso de sequía reducirá el volumen de aguas residuales disponible, pero cuando sea posible, una *primera estimación* del beneficio asociado a la fiabilidad puede ser el costo que se evita por el almacenamiento de agua como seguro o las pérdidas que se evitan a causa de una reducción de las cosechas cuando hay restricciones de agua para riego.
- **Beneficios ambientales** por una menor extracción de ríos o acuíferos, o por una menor contaminación de las aguas causada por los vertidos de aguas residuales (en muchos países, las aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas son la principal causa de contaminación de las aguas). Si el uso de agua regenerada requiere un mayor nivel de tratamiento que el requerido por las normas de vertido, se justifica abonar pagos por beneficios ambientales para compensar el costo adicional de tratamiento. Sin embargo, si el tratamiento adicional simplemente eleva la calidad del efluente para cumplir con la legislación nacional o regional los beneficios ambientales producto de un mayor tratamiento de las aguas residuales no pueden asignarse realmente al proyecto, sino a un cumplimiento de la ley.

### 3.2.2. Costos (ver también 3A5)

Los costos típicos involucrados en estos proyectos son:

- **Los costos de inversión para el tratamiento de las aguas residuales** (ya sea a nivel secundario o terciario), que pueden ser mejoras en plantas de tratamiento existentes o la instalación de

<sup>7</sup> Ver también, Hussain et. al. (2001 y 2002).

<sup>8</sup> Molden (2007) informa resultados de sus investigaciones en México y Pakistán (pp. 438, 439).

nuevas unidades. Cuando la planta que existente, que teóricamente tiene la capacidad apropiada, no está funcionando de manera efectiva, puede ser necesario efectuar reparaciones o una restitución.

- **Los costos de operación y mantenimiento rutinario de las plantas de tratamiento** (electricidad, sustancias químicas, mano de obra, materias primas, etc.). Cabe destacar que algunas plantas modernas tienen un alto nivel de reciclaje energético (por ej., la combustión del metano para producir energía) que tiene el efecto de disminuir (y en casos extremos, eliminar) el costo neto de las operaciones para tratar las aguas residuales.
- La instalación de **nueva infraestructura para distribuir el efluente tratado**, proveniente de las plantas de tratamiento hacia las áreas de riego (tuberías, estanques, depósitos, bombas, etc.) y los costos recurrentes que esto conlleva (energía para la extracción, limpieza, etc.).
- **Costo de las restricciones de productos** – la pérdida de ingresos de los agricultores debido a cualquier restricción que exista sobre algún tipo de cultivo que pueda regarse con el efluente. Por ejemplo, a veces se prohíbe el riego con aguas residuales tratadas a hortalizas o cultivos para consumo en fresco.
- Cualquier **efecto en la fertilidad y estructura del suelo** producto de los elementos en el efluente que no pudieron eliminarse en la etapa de tratamiento (por ejemplo sales, exceso de sodio, o sustancias tóxicas para los cultivos), lo cual disminuye los ingresos futuros de los agricultores.
- **Costos de otras medidas de reducción de riesgos para salud pública** por la manipulación y uso del efluente tratado, como por ejemplo, campañas de información pública o el monitoreo de aguas y cultivos. El monitoreo puede llegar a ser caro y a veces es más simple asumir que la restricción de cultivos y otras medidas de salud pública eliminan exitosamente el riesgo para la salud.
- **Costos residuales para la salud pública** debidos la reutilización, una vez aplicadas todas las otras restricciones de cultivos y otras medidas de salud pública y de seguridad. Un método común consiste en estimar el aumento probable de los Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD, como consecuencia del proyecto y buscar la manera de asignarles un valor (ver la sección 3.2.3. y 3A4 del anexo de este capítulo).
- **Costos ambientales**, por ejemplo, por un menor caudal en ríos y otras masas de agua debido a la desviación del efluente hacia los regantes. A pesar de que la reutilización de aguas residuales tiene muchos beneficios ambientales, los cuales en muchos casos podrían predominar sobre los costos, la interrupción del ciclo del agua que esto conlleva podría dañar los hábitats acuáticos y la morfología de los ríos y de las aguas costeras si el volumen es muy alto. Estos efectos dependen ampliamente de las condiciones locales. Para obtener una orientación acerca de la valoración de estos costos, ver los puntos 3.2.3. y 3A3 del anexo de este capítulo.

El análisis debe indicar la distribución de los costos anteriores entre las principales partes interesadas, es decir, agricultores, servicios públicos de agua, gobiernos locales, autoridades regionales de agua, etc. En teoría, la existencia de un beneficio neto permite que los ganadores del proyecto compensen a los perdedores, aunque en realidad puede ser difícil diseñar e implementar mecanismos de compensación. Aún así, es importante identificar donde asignar los costos y los beneficios.

### 3.2.3. Algunos pasos prácticos para utilizar el ACB o el Análisis Costo-Eficacia (ACE) en proyectos de reutilización

Se deben recopilar e incluir en el análisis los datos de los beneficios y costos anteriormente mencionados, según la siguiente secuencia, dependiendo de si se opta por el ACB o ACE como criterio de decisión.

El ACB consta de:

- la estimación de todos los costos y beneficios atribuibles al proyecto, como en las secciones 3.2.1 y 3.2.2 anteriores, y la aplicación del método de valoración apropiado (ver a continuación);

- el ajuste de los valores de mercado para obtener valores económicos y expresar valores en unidades monetarias comunes y precios constantes;
- la asignación de costos y beneficios a cada año del proyecto y la elaboración de una suma neta para cada año (positiva o negativa);
- la *actualización* de los flujos anuales mediante una tasa de actualización apropiada para obtener un *valor actual neto* (ver también 3A7);
- la justificación del proyecto mediante la regla de decisión apropiada: valor actual neto positivo o Relación Costo-Beneficio.
- El ACE implica:
- la definición del objetivo del proyecto expresada en términos cuantitativos (por ej., suministro de x m<sup>3</sup> adicionales al día a los agricultores, hogares urbanos, etc.)
- la identificación de las opciones posibles para lograr los objetivos anteriores y producir y obtener una lista resumida de alternativas;
- la estimación de los costos de las diversas opciones utilizando las categorías en la sección 3.2.2. y
- la elección de la opción que tiene el costo total menor (actualizado) para lograr un objetivo en particular. Cuando sea posible, el costo total puede dividirse por el producto resultado del proyecto, (por ejemplo, volumen del efluente o agua dulce intercambiada) para obtener un costo por unidad.
- Esta sección analiza algunos de los temas prácticos importantes en la elaboración el ACB y ACE en proyectos de reutilización. En el anexo de este capítulo se puede encontrar una descripción más detallada y más completa.
- 

#### *Determinación de los valores económicos (ver también 3A1)*

Los precios que se encuentran en los mercados y que realmente son pagados por los agricultores, hogares, gobiernos, etc., con frecuencia no son una buena referencia para los valores económicos subyacentes de los bienes y servicios. De manera general, el valor de un *producto* se mide por lo que los compradores *están dispuestos a pagar* por él, mientras que el valor de un *insumo* para su producción, es su *costo de oportunidad* para otros miembros de la sociedad, es decir, el valor que tiene en su mejor uso alternativo, o en otras palabras, lo que otros posibles usuarios pierden por el uso del insumo en nuestro proyecto.

Los precios de los productos e insumos utilizados en los proyectos de reutilización pueden estar distorsionados por los impuestos, subvenciones, cuotas, controles, monopolios, y otros factores que hacen que los precios reales difieran de sus niveles económicos, como se definió anteriormente. Las distorsiones son comunes en agricultura, en donde los precios de los cultivos pueden fijarse por encima o por debajo de los niveles imperantes del libre mercado, mientras que los insumos de equipos, suministros, agua y electricidad para el riego (para el bombeo) pueden ser subvencionados de diversas maneras. En estas circunstancias, los ingresos netos de los agricultores pueden no ser un indicador fiable para la justificación económica de un proyecto en términos del ACB nacional. En principio, deben aplicarse los precios de libre mercado sin subvención a todos los principales productos e insumos de la agricultura.

Del mismo modo, en el caso del aumento del uso de agua por parte de los consumidores urbanos e industriales, el precio doméstico del agua generalmente es menor que su costo económico de suministro. Con frecuencia también es inferior a la disposición a pagar por él, en los casos en que esto ha sido sometido a una encuesta. La tarifa nominal del agua o, de manera alternativa, el ingreso promedio recibido por unidad vendida<sup>9</sup>, puede ser considerada como valor mínimo del agua para el uso urbano.

<sup>9</sup> Esta será mayor o inferior que la tarifa nominal, dependiendo del efecto neto por las conexiones ilegales, facturación ineficiente, corrupción de quienes toman el estado del agua, etc.



Cuando evidentemente es demasiado bajo, se puede hacer un ajuste hacia arriba en la evaluación, utilizando otros criterios nacionales o internacionales. Lo mismo se aplica al agua que se vende para uso industrial, aunque es menos probable que sea subvencionada.

#### *Impuestos, subsidios y pagos transferidos (ver también 3A2)*

Los valores deben excluir impuestos, subvenciones y otros pagos transferidos sobre la base de que, para la totalidad del país, son meramente transferencias de pago entre diferentes grupos. Estas transferencias no representan valores reales de escasez, por el contrario, pueden esconder el verdadero costo de oportunidad del ítem. Los impuestos a la renta y corporativos deben excluirse del análisis, así como también los principales impuestos indirectos que afectan al proyecto (por ej., impuestos de exportación, aranceles de importación, impuestos sobre el consumo) así como subsidios y otras transferencias entre ciudadanos y el Estado. El pago por servicios reales (por ej., las tarifas pagadas por el suministro de agua regenerada), así como los beneficios que corresponden a los servicios prestados, deben incluirse como costos y beneficios respectivamente. Los impuestos por contaminación (por ej., que pagan los agricultores por contaminación difusa, o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales por sus vertidos), pueden ser considerados como una estimación del daño ambiental, en cuyo caso deben ser ingresados como costo real o (cuando se evitan a través de un sistema de reutilización) costo evitado (= beneficio).

#### *Inflación y precios constantes*

El análisis se debe realizar a precios constantes, normalmente del año en que se realiza el estudio. Es difícil predecir la inflación de precios más allá de uno a dos años<sup>10</sup> y los errores que se mantengan por ciertos años podrían hacer que los resultados del análisis resulten seriamente distorsionados. La utilización de precios constantes es equivalente a asumir que la inflación futura tendrá un efecto neutro en los costos y beneficios de los elementos del proyecto (es decir, sus valores relativos permanecerán inalterados). Si por el contrario existen razones justificadas para creer que el valor relativo de un ítem importante cambiará, se puede tomar en consideración (por ej., el precio internacional de una materia prima clave como el petróleo o el costo futuro de la desalinización debido a los avances tecnológicos). También sería prudente incluirlo en el análisis de sensibilidad.

#### *Actualización y la elección de la tasa de actualización (ver también 3A7)*

El uso de la actualización en el ACB, especialmente en proyectos de infraestructura de larga duración con impactos ambientales y sociales importantes, como los proyectos de reutilización, ha creado gran controversia y discusiones. Esto se debe en parte a la elección de la tasa de actualización, pero principalmente se debe a que la tasa de actualización cumple diversos objetivos, con frecuencia incompatibles. Los temas más complejos se analizan en mayor detalle en el anexo de este capítulo. De manera resumida, se puede afirmar que la tasa de actualización puede servir para uno o todos los objetivos siguientes:

- Un reflejo de la Tasa Social de Preferencia Temporal (TSPT), que expresa la intensidad con la que la sociedad (y los gobiernos) prefieren el consumo presente frente al consumo futuro. La TSPT refleja los pros y los contras de los beneficios futuros de las inversiones públicas y los sacrificios presentes necesarios para efectuar estas inversiones.
- Un recordatorio del costo de oportunidad (CO) del capital utilizado en el proyecto (lo que podría haberse ganado si se hubiese utilizado para otros fines).

<sup>10</sup> En el caso de mercados financieros altamente desarrollados, las expectativas de inflación futura pueden inferirse a partir de la diferencia entre la tasa de interés ofrecida por los bonos de largo plazo y la de los bonos indexados a la inflación.



- Un mecanismo de racionamiento del capital para prorratear el presupuesto disponible para una inversión entre el conjunto más atractivo de proyectos. Esto puede denominarse tasa de “equilibrio del mercado”.
- Una medida práctica para comparar proyectos con diferentes perfiles temporales de costos y beneficios. Al convertir a valor actual (es decir, actualizar) los costos y beneficios futuros de diferentes proyectos de reutilización, se puede determinar el valor actual neto (VAN) de cada uno de los proyectos.

Los gobiernos deben elegir un término medio entre fijar una tasa demasiado baja y una demasiado alta. Los peligros de establecer una tasa de actualización *demasiado baja* (o incluso cero) son: fomento de proyectos intensivos en capital, problema especialmente importante en países con déficits de capital y superávit de mano de obra; fomento de un mayor ritmo de inversión en proyectos menos productivos (aquellos que no serían viables con una tasa de retorno mayor) y el riesgo de una asignación poco óptima frente a un capital escaso.

Por otro lado, las desventajas de establecer tasas demasiado altas incluyen: el posible freno a inversiones productivas; reducción al mínimo de los efectos de largo plazo de los costos y beneficios de los proyectos<sup>11</sup>; aceleración de la tasa de explotación de recursos naturales renovables; estímulo de su explotación en lugar de su conservación e indiferencia en cuanto a los intereses de las futuras generaciones.

Muchos gobiernos establecen sus propias tasas de actualización para seleccionar proyectos de inversión pública y, cuando existen, se utilizan en los ACB, aunque con una evaluación de los diferentes objetivos y los compromisos involucrados en su estimación<sup>12</sup>. Cuando no se cuenta con tasas de actualización estándar para el sector público, los analistas deberán seleccionar sus propias tasas, teniendo en cuenta que las tasas de actualización deben fijarse en términos reales y estar libres de riesgos. Es probable que las tasas basadas en las preferencias temporales de la sociedad resulten en tasas inferiores que aquellas influenciadas por el costo de oportunidad y los criterios de equilibrio de mercado.

Aquellos tipos de proyecto que estarían en desventaja por el uso de la tasa de actualización escogida deben ser considerados para una evaluación especial (por ej., los proyectos ambientales, utilizando diversas maneras para calcular los costos y beneficios no relacionados con el mercado<sup>13</sup>).

### *Elección del período de análisis*

La *vida útil* de un proyecto es la cantidad de años durante los cuales se puede seguir produciendo el resultado esperado, con un mantenimiento razonable y reparaciones esenciales ocasionales. Muchos activos de infraestructura hídrica tienen una vida útil que se mide en décadas (incluso siglos).

Existen dos maneras de abordar el mantenimiento en un ACB. La primera consiste en incluir en los costos anuales todos los mantenimientos, reparaciones, reemplazos menores, etc., necesarios para mantener un nivel proyectado de beneficios para un futuro indefinido. El proyecto debe tener un *valor residual* al final de su vida útil, que se abona como beneficio futuro del proyecto. El valor residual de un proyecto puede ser, entre otros, su valor como desecho, o como valor de segunda mano. La segunda manera consiste en incorporar la obsolescencia, con costos recurrentes mínimos, en un escenario que implique un valor residual cero al final de la vida del proyecto.

<sup>11</sup> Con una tasa del 10%, cualquier impacto que surja después de 15 años tendría un efecto mínimo en el resultado del ACB. Esto dificultaría la justificación de los proyectos con beneficios en el largo plazo o la consideración adecuada de los costos que surjan en el futuro distante.

<sup>12</sup> Los casos de estudios españoles y mexicanos del Capítulo 4 utilizan una tasa de actualización del 6%.

<sup>13</sup> Un método posible equivale a la disminución de la tasa de actualización. Cuando se cree que los valores ambientales aumentarán en relación con el resto de los valores, se puede justificar el aumento de un flujo de beneficios dado en términos reales a lo largo del tiempo (como el valor recreacional de un paisaje virgen en medio de la rápida urbanización o de la intensificación agrícola).

*La vida económica*, no obstante, es aquel período relevante para el empleo del capital en cuestión, el cual con frecuencia es mucho más corto que la vida útil del activo. La vida económica se ve influenciada por el nivel de la tasa de actualización: a un 10%, un flujo de beneficios o costos pierde la mitad de su valor después de 7 años y con esa tasa de poco sirve extender el análisis más allá de 15 años porque los valores futuros son objeto de una importante depreciación<sup>14</sup>.

#### ***Evaluación de los efectos en la salud pública: AVAD y AVAC (ver también 3A4)***

El efecto de la utilización de aguas residuales sobre la salud pública puede contemplarse en el ACB y en el ACE de diversas maneras. Pero para ello es útil familiarizarse primero con los conceptos de AVAD y AVAC. El AVAD (Año de Vida Ajustado por Discapacidad) intenta medir la carga de enfermedad. Lo hace indicando la cantidad de vida saludable que se pierde por mortalidad prematura o por algún grado de discapacidad durante un tiempo. El AVAC (Año de Vida Ajustado por Calidad) indica los años de vida con una salud óptima y sirve para medir los resultados de los programas sanitarios. Al igual que en el caso del AVAD, el AVAC multiplica cada año de vida ganado por la intervención sanitaria mediante un factor de ponderación de calidad que refleja la calidad de vida de la persona en ese año.

La carga de enfermedad, expresada en AVAD, mide los años de vida libre de discapacidad que se pierden como resultado de la muerte, enfermedad o lesiones en un año en particular. Las medidas de salud pública normalmente producen AVAD positivos, mientras que los peligros para la salud, como los patógenos de las aguas residuales, dan un puntaje negativo de AVAD. Este enfoque evita la valoración directa de las ganancias y costos sanitarios, aunque la ponderación comparativa de diferentes estados de salud y condiciones físicas aún causa controversia.

La información acerca de los AVAD o AVAC se puede utilizar en los ACB y ACE de diversas maneras:

- i) Por ejemplo, diferentes proyectos, que implican diversos tipos y niveles de tratamiento de aguas residuales y/o limitaciones de uso de esas aguas, resultan en AVADs diferentes. Minimizar el efecto de un proyecto sobre los AVAD puede ser un criterio de selección que complemente (o incluso anule) otros criterios de decisión.
- ii) Al evaluar las políticas de salud pública, los AVAD o AVAC pueden indicar la efectividad relativa de las distintas medidas sanitarias para lograr una mejora de la salud por unidad de gasto. Esta unidad de medición puede aplicarse a las políticas de salud pública que acompañan un proyecto de reutilización.
- iii) Cumplir con un nivel objetivo de AVAD puede ser un criterio obligatorio para el proyecto, según el cual los proyectos podrían clasificarse de acuerdo con su costo-eficacia para lograr un número de AVAD dado. Por ejemplo, las directrices de la OMS/FAO acerca del uso seguro de aguas residuales indican un nivel de referencia de “riesgo aceptable” de  $10^{-6}$  AVADs. <sup>15</sup> La Figura 1.4 de la sección 1.6 muestra distintas opciones para reducir la presencia de agentes patógenos a un nivel de riesgo aceptable, cada una de las cuales tiene su costo.
- iv) El AVAD puede convertirse a valores monetarios utilizando diversos métodos económicos para valorar los diversos estados de vida y salud. Todos estos valores causan controversia (3A4).

<sup>14</sup> Si al final del período de evaluación, los activos del proyecto se encuentran en una condición favorable y pueden generar beneficios adicionales, se les puede otorgar un valor residual. Si el período es de 20 años, se debe evaluar cuántos años más de vida útil tendrá el proyecto, considerando un mantenimiento adecuado y reparaciones periódicas. El flujo futuro de beneficios netos, que comienza en el año 21, se debe reducir a un VAN (aplicando el factor de actualización para el año 21), lo que representa el valor residual del activo. En la mayoría de los casos, la actualización asegurará que el valor residual no sea un factor de decisión crítico.

<sup>15</sup> Ver la sección 1.6 de este informe.

### *Estimación de los costos y beneficios ambientales<sup>16</sup>*

El impacto de un proyecto de reutilización en el medioambiente puede ser difícil de cuantificar y aún más difícil de expresar en forma monetaria. La Tabla 3.1 resume los distintos componentes del Valor Económico Total de un recurso natural como el agua.

En la categoría de *valores relacionados con el uso*, los valores de uso directo provienen de la interacción directa con los recursos hídricos, como en los usos relacionados con el consumo (por ej., riego) o no relacionados con el consumo (natación, pesca, disfrutar de la vista). Los valores de uso distante provienen del disfrute a través de los medios de comunicación, tales como TV y revistas. Los valores de uso indirecto no implican interacción directa con el agua. Incluyen por ejemplo la protección que ofrecen los humedales contra las inundaciones, o el papel de los acuíferos en la eliminación de contaminantes, por filtración, durante su recarga. Los *valores no relacionados con el uso y los otros valores* dependen de temas éticos y altruistas para preservar el recurso o el ecosistema asociado.

Según qué componente aparezca, existen diversos métodos posibles para estimar su valor económico. Algunos usos del agua relacionados con el consumo, como el riego de fincas o de campos de golf, pueden valorarse mediante el impacto en la productividad utilizando precios de mercado (ajustados según sea necesario, como se explicó anteriormente). Sin embargo, la mayoría de los otros valores deben obtenerse utilizando otros métodos tales como:

- *Disposición a pagar.* Mediante entrevistas o cuestionarios elaborados cuidadosamente, a las personas que se verán afectadas por el proyecto se les pregunta cuánto vale para ellos el mantener un “estado natural” o cambiarlo, es decir cuál sería su Disposición a Pagar (DAP) por ello. En el caso de un cambio que los afecta de manera adversa, se les pregunta acerca de la compensación por su Disposición a Aceptar (DAA)<sup>17</sup>. Este método también se conoce como valoración contingente. En los sistemas de reutilización, se puede aplicar en el caso de una reducción de la contaminación, un mayor nivel de caudales “ambientales” de ríos o humedales o, por el contrario, a las restricciones en cuanto al uso público de ciertas tierras, por malos olores, etc.
- *Elección discreta y experimentos de elección.* Son modelos más desarrollados que la DAP, en los cuales a los encuestados se les presentan opciones hipotéticas a elegir, algunas de las cuales se les asigna un valor monetario y a otras no. Su valoración de las opciones no monetarias se infiere a partir de las preferencias que ellos expresan.
- *Gasto defensivo y conducta de prevención.* Los valores pueden inferirse observando lo que la gente realmente gasta con el fin de protegerse de los efectos de un evento particular (por ej., lo que los agricultores gastan en la compra y almacenamiento de agua para protegerse contra un suministro irregular).
- *Precios hedónicos.* Se infieren de los valores que las personas asignan a la calidad ambiental, observando lo que pagan por bienes, generalmente propiedades, que incorporan atributos ambientales. Esto se podría utilizar observando cambios, o valores diferenciales del suelo y las

TABLA 3.1  
Valor Económico Total

Valores relacionados con el uso:	Valores no relacionados con el uso	Otros valores
Uso de consumo	Valor de existencia	Valor de opción
Uso recreacional, estético y educacional	Valor de legado	Valor de cuasi opción
Uso de valor distante	Valor filantrópico	
Uso indirecto		

Fuente: FAO, 2004 (p. 55).

<sup>16</sup> Se puede encontrar mayor información en Turner, *et al.*, (2004), y Hermans *et al.* 2006

<sup>17</sup> La DAA y la DAP darán diferentes resultados.

casas afectadas, ya sea de manera positiva o negativa, debido a los proyectos de reutilización. Sin embargo, se debe tener cuidado de no contar dos veces los beneficios: si el cambio en el valor del suelo se debe a cambios en los ingresos de las fincas, debido a la adopción del proyecto de reutilización, sólo uno de estos métodos se debe utilizar para estimar el efecto.

- *Costo de viaje.* La valoración que hacen las personas de un hábitat natural o de un área recreativa local (gratis) se infiere de la cantidad (de tiempo, transporte) que se requiere para viajar al lugar específico. Este método de estimación podría aplicarse a cualquier efecto (positivo o negativo) sobre el uso del suelo, recreación o instalación que resulta de un proyecto de reutilización.
- *Costo de reemplazo y proyectos sombra.* Cuando un proyecto amenaza un lugar o hábitat valioso, se puede incluir un ítem de presupuesto en el ACB para reemplazarlo o reubicarlo. Puede ser considerado como costo real del proyecto o como un ítem de evaluación hipotético con el fin de equilibrar sus supuestos beneficios. Un proyecto sombra es aquel proyecto que compensaría completamente los efectos negativos del proyecto bajo estudio. (En los EE.UU., los “bancos de humedales” exigen que el patrocinador de un proyecto reemplace el humedal que será destruido por dicho proyecto, mediante la creación o restauración de un humedal en otro lugar).

### *Reglas de decisión*

Después de concluir el ACB, se pueden utilizar diversos criterios, ya sea por separado o en conjunto, para decidir si se procede o no con un proyecto. Las principales reglas de decisión son las siguientes:

*Valor actual neto (VAN).* Un VAN positivo, expresado en unidades de dinero, indica que el retorno neto del proyecto excede la tasa de actualización utilizada. Al aplicar una tasa de actualización, los costos y beneficios futuros se convierten a valor presente. Un proyecto de reutilización es económicamente viable si el valor presente de los beneficios excede el valor presente de los costos. Un VAN positivo es una condición necesaria, pero no suficiente, para seguir adelante con un proyecto (ver a continuación).

*Tasa interna de retorno (TIR),* a veces denominada *Tasa interna de retorno económica (TIRE).* Es la tasa de actualización porcentual que iguala el flujo de costos y beneficios. La TIR debe ser superior a la tasa de actualización utilizada como umbral de “prueba” o “límite”<sup>18</sup>.

*Relación costo-beneficio (RCB).* Expresa el total de beneficios actualizados como relación del total de costos actualizados (por ej., 1,5:1,0). La diferencia entre los dos flujos actualizados es la misma que en el VAN, pero la RCB tiene la ventaja de relacionar la magnitud del VAN con la escala de recursos (costos) empleados en el proyecto. Por ejemplo, un proyecto de mayor envergadura puede tener un VAN considerablemente positivo, pero tres proyectos más pequeños podrían tener un VAN mayor y sería una mejor manera de utilizar el capital disponible.

La elección de la regla depende de las circunstancias de la decisión. En términos generales existen tres situaciones.

- Una decisión sí-no de un solo proyecto, utilizando un umbral predeterminado (por ej., una tasa de actualización de prueba). Las tres reglas de decisión llegarán al mismo resultado. Un proyecto con un VAN positivo con la tasa de actualización de prueba tendrá una TIR mayor que esta tasa de actualización y una RCB mayor a 1.0.
- Opción entre proyectos mutuamente excluyentes (por ej., diferentes lugares para instalar una planta de tratamiento de aguas residuales, diferentes rutas para un canal o tuberías para distribuir el efluente tratado). La regla de decisión deberá enfocarse en la maximización del VAN con la tasa de actualización elegida<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> En teoría, bajo ciertas condiciones restrictivas, un proyecto no tendrá una TIR única, por ende el VAN es más fiable. Sin embargo, para aquellos que acostumbran a pensar en las tasas de retorno, la TIR es más fácil de comprender.

<sup>19</sup> Incluso si el proyecto de menor envergadura tuviera una RCB mayor que el proyecto de mayor envergadura, que tiene un VAN mayor. De alguna manera se puede pensar que va contra el sentido común, pero sigue siendo un uso racional de los recursos.

- Cuando una serie de proyectos compiten por recursos financieros limitados, es necesario efectuar una clasificación. El mejor procedimiento consiste en clasificar los proyectos en orden descendente según sus RCB.

Otras reglas de decisión comunes son:

*Opción del menor costo:* cuando los beneficios de todos los proyectos alternativos son los mismos, el criterio de elección es el VAN menor de los costos. Ésta es la regla de decisión básica utilizada en el ACE.

*Tasa de Retorno del Primer Año (TRPA).* Cuando un proyecto cumple otros criterios, pero la planificación temporal de la inversión es una parte importante de la decisión, se puede utilizar esta tasa para determinar la planificación temporal óptima. La TRPA representa los beneficios del proyecto en su primer año de operación como porcentaje de los costos totales, ambos actualizados. Si la TRPA es menor a la tasa de actualización utilizada, el proyecto podría retrasarse de manera que ello se transforme en una ventaja.

*Período de recuperación del capital.* Ésta es una regla práctica que comúnmente se utiliza en finanzas: período en el cual se espera recuperar completamente la inversión inicial. Responde la pregunta, “¿cuándo podré recuperar mi dinero?”, preocupación válida de agricultores, empresas de servicios municipales y de agua.

*Costos y beneficios anualizados.* Mediante el uso del Factor de Recuperación del Capital (FRC), todos los costos y beneficios futuros de un proyecto se convierten a cifras anuales presentes. El FRC es un factor mediante el cual la inversión de capital al comienzo de la vida del proyecto se multiplica para obtener un costo de recuperación equivalente que permita pagar la inversión presente, una vez transcurrida la vida del proyecto. De esta manera, el costo anual de un proyecto de reutilización se puede comparar, por ejemplo, con el beneficio económico del agua dulce liberada por los agricultores y transportada a las ciudades en un año.

La evaluación y gestión del riesgo es una dimensión importante para la evaluación, así como también la manera en que se presenta a los tomadores de decisiones (ver también 3A8).

#### *Evaluación económica con disponibilidad limitada de información*

Las necesidades de datos de los métodos de evaluación descritos anteriormente pueden ser bastante considerables, pueden requerir recursos, tiempo y presupuestos que pueden ser poco realistas en algunas circunstancias. En estos casos, se puede recurrir a métodos de evaluación y reglas de decisión abreviados o a la aplicación de la transferencia de beneficios.

Si como resultado de una investigación preliminar, las magnitudes de costos o beneficios aparentemente permiten tomar una decisión sin un análisis más profundo, *los métodos abreviados* evitan de manera efectiva tener que llevar a cabo una evaluación completa.

*Identificación de las variables críticas.* El análisis preliminar puede indicar cuáles son las variables críticas, al indicar las áreas de investigación en las cuales se debe enfocar la atención si los recursos son escasos o existen restricciones de tiempo. Este tipo de análisis puede ajustarse a las preferencias de las partes interesadas clave y debe indicar qué tipo de información o acción adicional se requiere en aquellos aspectos del proyecto que tienen una mayor importancia..

La *Transferencia de beneficios* es otro método para economizar recursos de investigación y de análisis, al seleccionar información y datos válidos en situaciones similares en otros lugares y transferirlos a nuestro tema de análisis. Por ejemplo, se puede buscar información sobre los beneficios por la restauración de un humedal, el valor recreativo de una masa de agua, la disposición a pagar por contar con ríos más limpios, con niveles de caudal mínimos, o para evitar malos olores, etc. Algunas universidades, institutos, organismos ambientales nacionales y organismos internacionales cuentan con bases de datos a las que pueden acceder los profesionales<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Una de las bases de datos más importantes es el Environmental Valuation Reference Inventory (EVRI) al cual se puede acceder en [www.evri.ca](http://www.evri.ca). Además, van Beukering *et. al.* 1998.

### 3.3. ANÁLISIS COSTO-EFICACIA (ACE)

El ACE se recomienda cuando los beneficios de un proyecto son difíciles de evaluar o cuantificar y cuando hay diferentes alternativas para lograr los objetivos del proyecto. El ACE también es útil cuando la metodología de la estimación de los beneficios causa controversia, generalmente en el caso de los beneficios ambientales y de salud pública. El ACE compara las diferentes alternativas para ofrecer unos resultados dados, como un volumen específico de agua para municipalidades o la agricultura.

Como se indicó en la sección anterior, el ACE implica la definición del objetivo del proyecto en términos cuantitativos, mediante la identificación de opciones para lograrlo, estimación de los costos de las diversas opciones y elección de aquella con el menor costo total (actualizado). Cuando sea factible, el costo total se puede dividir por el producto resultado del proyecto o productos intermedios que participan en el proyecto (por ej., volumen de agua en m<sup>3</sup>) para producir un costo unitario, lo cual puede ser más significativo y útil que el costo total<sup>21</sup>.

En un ACE, se justifica un proyecto A (de reutilización) si su costo es menor que las opciones alternativas, es decir, los proyectos B, C, D y E, que pueden conseguir los mismos objetivos que A, por ejemplo equilibrar la oferta y la demanda de agua. Estos proyectos alternativos pueden ser la gestión de la demanda, la desalinización, el transporte de agua desde una fuente distante, revestimiento de los canales de distribución, etc. El ACE evita la dificultad de estimar valores de uso del agua<sup>22</sup>: como se indicó en la sección anterior, en el caso del ACB, las tarifas de agua con frecuencia se utilizan como una variable sustitutiva de los beneficios, pero es una variable imperfecta en vista de los precios excesivamente bajos del agua, mientras que la estimación de los valores no relacionados con el uso (por ej., calidad ambiental) presenta sus propios desafíos.

El ACE presenta ciertos problemas cuando las diversas opciones consideradas ofrecen resultados múltiples y/o que no son estrictamente comparables, por ej., algunas opciones tendrán un excelente resultado en cuanto al objetivo principal, pero muy mal resultado o muy buen en otros temas secundarios pero importantes. Una situación común en los proyectos de reutilización aparece cuando la ley exige un nivel específico de tratamiento de las aguas residuales, pero las diversas opciones para hacerlo tienen distintos niveles de beneficios colaterales asociados. En casos como éste, elementos tanto del ACB y como del ACE estarían dentro del análisis, y el valor de los beneficios podría compensar los costos de cada alternativa al elegir la opción de menor costo. Cuando no se puede asegurar un resultado idéntico, es posible que sea necesario ponderar las opciones de acuerdo con sus diversos impactos, lo cual complica la utilización de una simple medición del ACE.

### 3.4. VIABILIDAD FINANCIERA

#### 3.4.1. Impacto financiero en las partes interesadas clave

El análisis debe comenzar con una evaluación del impacto del proyecto en el estado financiero de las partes interesadas clave: gobierno central, juntas de agua regionales, servicios municipales, agricultores, etc., lo que incluye la identificación de los principales ganadores y perdedores, con estimaciones de las ganancias/pérdidas. Debe incluir una estimación de las implicaciones financieras del proyecto en relación con el capital público y los presupuestos recurrentes. Esta parte del análisis sirve de base para comprender los incentivos para las partes interesadas clave, especialmente agricultores, para que apoyen o se resistan al proyecto.

#### *Gobierno central*

Dependiendo a quien corresponde la responsabilidad constitucional nacional, las implicaciones financieras de los principales proyectos de infraestructura hídrica pueden recaer en el gobierno central.

<sup>21</sup> Cuando se usa una tasa apropiada para actualizar los costos financieros futuros y los volúmenes de agua.

<sup>22</sup> Ver Turner, 2004.



En este caso, se considerarán como temas gubernamentales la responsabilidad de fijar la financiación, cobros y subvenciones a los agricultores y apoyo financiero a los proveedores de agua locales (por ej., para cubrir los déficits de los servicios locales). El gobierno central tendrá un interés financiero cuando existan implicaciones internacionales (por ej., en el caso de la UE, la Política Agrícola Común o la Directiva Marco del Agua) o temas que traspasan las fronteras (por ej., ríos o acuíferos compartidos), o bien cuando exista financiación externa.

### *Juntas de agua regionales*

En los casos en que se delega a las juntas de agua regionales o a los gobiernos estatales la responsabilidad de las principales infraestructuras y servicios hídricos es probable que participen en financiación de los proyectos, lo que incluye la recuperación de los costos y las transferencias fiscales. En muchos países, incluidos España y México, cualquier efecto sobre el movimiento de aguas entre las cuencas de diversos ríos es un tema altamente polémico y sensible, por lo cual es necesario evaluar cuidadosamente el efecto sobre las principales partes interesadas en las regiones. Puede haber efectos adversos de la reutilización también para los usuarios aguas abajo con implicaciones financieras (como pagos de compensación).

### *Servicios municipales*

Los proyectos de reutilización de agua normalmente tienen un impacto significativo en la situación financiera de las empresas de servicios básicos. Cuando existe un intercambio de derechos de agua de los agricultores por agua regenerada existe un impacto positivo en las ciudades por el costo que se evita al no incurrir en soluciones más costosas, posiblemente ahorros en el tratamiento de aguas residuales (dependiendo de las reglamentaciones ambientales locales), y las ventas adicionales de agua para uso urbano. Por otro lado, los costos de capital y de operación de cualquier nueva instalación de tratamiento o nuevos sistemas de distribución recaerían en primera instancia en las empresas de servicios básicos. Estas empresas también pueden evitar cargos de contaminación por el efluente proveniente de sus plantas de tratamiento de aguas residuales. Su política de recuperación de los costos a partir de los agricultores y consumidores de agua urbana sería una influencia clave en las finanzas de la empresa de servicios.

### *Agricultores*

Los agricultores podrían beneficiarse financieramente al tener garantizado un suministro más fiable de agua de riego, que contiene nutrientes que les permite ahorrar el costo de los fertilizantes. Pueden también ahorrar algunos costos de captación, como los costos de bombeo de aguas subterráneas. Como desventaja, pueden tener limitaciones en cuanto al uso que se le puede dar al agua. Un tema importante para los agricultores es cómo se distribuye la recuperación de los costos. Varios estudios de casos demuestran que si los agricultores no deben asumir el costo de nuevas instalaciones de tratamiento o infraestructuras de distribución pueden beneficiarse financieramente de la reutilización. Sin embargo, si estos costos se asignan a los agricultores participantes, pueden tener pérdidas financieras. Para efectuar este análisis es necesario hacer algunos supuestos acerca de los cobros por las aguas regeneradas en comparación con los cobros por el agua dulce, lo cual tendrá una influencia fundamental en la captación que hacen los agricultores.

La Tabla 3.2 muestra una matriz simple que describe cómo se puede presentar el efecto financiero de la reutilización sobre las partes interesadas clave.

### **3.4.2. Trasferencias e instrumentos financieros**

En relación con lo descrito previamente, esta parte del análisis debe centrarse en elaborar propuestas con el fin de que las transferencias e instrumentos financieros creen condiciones equitativas para que

TABLA 3.2

**Efecto financiero de la reutilización sobre las principales partes interesadas**

*Los efectos deben cuantificarse, distinguiendo entre pagos únicos (por ej., inversiones de capital) e ítems recurrentes que se presentan anualmente.*

Parte interesada	Efectos positivos	Efectos negativos	Factores clave
Gobierno central	Coste evitado de proyectos de transporte de agua dulce entre estados u otra nueva infraestructura	Costo de capital inicial del proyecto; costo fiscal neto de las transferencias y compensación pagada a otras partes interesadas	Delimitación de las responsabilidades fiscales y financieras entre las distintas áreas de administración; política de precios del agua; acceso a financiamiento externo; normas ambientales y sanitarias obligatorias (por ej., UE)
Gobiernos estatales, autoridades regionales del agua	Ingresos de la venta a granel de agua dulce a las ciudades; ingresos fiscales de un mayor desarrollo de las áreas urbanas y rurales gracias a una mayor seguridad del agua	Financiamiento de capital de los proyectos y costos de operación y mantenimiento; compra* de efluente a las plantas de tratamiento municipales; cualquier transferencia fiscal incurrida	División de las responsabilidades financieras y fiscales entre los gobiernos regionales locales y central; reglamentaciones ambientales y de salud pública locales
Servicios municipales	Costos evitados gracias a soluciones hídras alternativas; ahorro de los costos del tratamiento del efluente; ingresos adicionales * provenientes de la venta de agua urbana; reducción de los cargos por contaminación	Costos de capital y operación de las nuevas instalaciones e infraestructura; costos de las medidas de salud pública y restricciones sobre el uso de servicios para uso recreativo	Política de tarifas del efluente y del agua dulce; distribución de los costos entre usuarios y autoridades **; nivel de déficits actuales y futuros del agua urbana
Agricultores	Mayor fiabilidad del efluente; ahorros en la captación y extracción; ahorros de fertilizante; aumento del rendimiento y de los ingresos por ventas	Costo de las restricciones de productos; reducción de servicios para uso recreativo, lo que se refleja en el precio de la tierra	Cuántos de los costos del proyecto son originados y recuperados a través de los agricultores; alternativas disponibles, por ej., aguas subterráneas propias; precio que se asigna al efluente en comparación con el precio del agua dulce; capacidad de vender los derechos de agua existentes *; severidad de las restricciones a los productos

\* Es importante señalar que en la mayoría de los países europeos el agua no se puede vender, pero los costos se pueden recuperar.

\*\* De acuerdo con la política de la UE, todos los costos deben incluirse en el precio final.

un proyecto de reutilización sea aceptable y ofrezca incentivos adecuados para lograr la total participación de las principales partes interesadas. Esto incluye una evaluación del alcance y modalidades para los cobros de agua, otros gravámenes financieros, sistemas de comercialización, subvenciones y mecanismos financieros innovadores como pagos por servicios ambientales. En principio, los agricultores deben contribuir a cubrir los costos de los proyectos de reutilización si es que se benefician de manera significativa por un aumento en sus ingresos por ventas y/o ahorro del costo de extraer recursos convencionales y/o por el ahorro de fertilizantes. Sin embargo, desde otro punto de vista, se deben utilizar incentivos económicos si es necesario fomentar la participación de los agricultores en proyectos de reutilización.

**Cobros**

Si se decide que los costos del proyecto se recuperarán a través de los agricultores, la opción más obvia sería un cobro por el uso del efluente tratado. La viabilidad de los cobros sería mayor mientras menos alternativas tengan los agricultores (en algunos países los agricultores de zonas periurbanas están acostumbrados a utilizar aguas residuales, tratadas o no, para el riego y a veces ésta es la única opción disponible). Un diferencial de precio en favor del agua regenerada atraería más agricultores.

La viabilidad de utilizar cobros por el riego para la recuperación de los costos no es una materia sencilla, aunque al menos en los países de la OCDE, las tasas de recuperación de costos de operación



y mantenimiento están aumentando en la mayoría de los países. La recuperación del gasto de capital a través de tarifas es menos común, aunque también está en aumento<sup>23</sup>.

Fuera de la OCDE, existen mayores barreras para imponer o aumentar los cobros por el riego. Sin embargo, el nivel actual de los cobros, generalmente bajo o incluso cero, es el resultado de factores sociales, políticos y económicos locales específicos. En la mayoría de los casos, los cobros por riego necesitarían aumentar a niveles que sean políticamente inviables con el fin de que exista un importante efecto en la demanda. Una mayor recuperación de los costos a través de los agricultores se puede conseguir dentro de un marco de reformas más amplio y de más largo plazo, en que los agricultores tengan mayor control sobre sus suministros, una mayor influencia sobre el uso de los ingresos y un mayor estándar de servicio<sup>24</sup>.

### *Sistemas de comercialización*

Cuando los agricultores tienen derechos contractuales o consuetudinarios sobre el agua, los mercados de agua son una opción, y pueden vender sus derechos a otros usuarios a cambio de aguas regeneradas. Existen varias condiciones previas para que existan estos mercados de agua: la comercialización debe estar permitida legalmente y debe ser físicamente viable (es decir que los nuevos usuarios estén a una distancia económica y que exista la infraestructura para transportar el agua); el interés del medioambiente y de terceros debe quedar protegido y, por último, que los costos de transacción para comercializar el agua no sean excesivos.

### *Subvenciones a los agricultores*

Todas las subvenciones que se pagan a los agricultores que usan aguas residuales se pueden justificar de diversas maneras.

- Pueden considerarse como un *pago por servicios ambientales (PSA)*. Los servicios en este caso consisten en la utilización de aguas regeneradas, con lo cual se evita el uso de agua dulce superficial o subterránea, o bien se permite la recarga de acuíferos sobreexplotados o la restauración de los caudales mínimos en los ríos. El fundamento preciso para asignar los PSA, su forma, cantidad determinada y fuente de financiación dependerá de los factores locales.<sup>25</sup>
- Un argumento diferente que se relaciona con las subvenciones a los agricultores se basa en la “equidad”, es decir, compartir la ganancia financiera que obtiene la autoridad de agua regional o urbana gracias al proyecto de reutilización, en comparación con el escenario *sin proyecto*. Los agricultores son fundamentales para lograr que esta clase de proyecto se lleve a cabo.
- Compensación por otras distorsiones del mercado que afectan a los agricultores, como es el caso de las políticas de “comida barata” que reducen los precios percibidos por los agricultores o los aranceles sobre productos químicos y maquinaria importada. Sin embargo, éste no es un buen argumento para lograr acceder a agua de riego barata, ya que produce sus propias distorsiones.
- Es posible que los agricultores necesiten una compensación por los costos netos incurridos en el uso de las aguas regeneradas, como los costes asociados a las restricciones a ciertos cultivos o a cualquier efecto negativo sobre la productividad de la tierra (por ej., la acumulación de compuestos perjudiciales en el suelo). Estos costos deben compensarse con los posibles beneficios de fertilización gracias a los nutrientes presentes en las aguas regeneradas. Otro factor que se

<sup>23</sup> OCDE: *Managing water for all: An OECD perspective on pricing and financing*. 2009. pp. 138-139.

<sup>24</sup> F. Molle y J. Berkoff (eds.) *Irrigation water pricing: the gap between theory and practice*. IWMI/CABI, 2007.

<sup>25</sup> FAO *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2007: Pagos a los agricultores por servicios ambientales*.

presenta en algunas fincas periurbanas es que la competencia por el agua dulce es tan alta que los agricultores no tienen otra alternativa que usar aguas residuales (tratadas o no) para el riego.

La forma más simple de subvención consiste en entregar las aguas regeneradas sin costo. Esto sería relativamente fácil de administrar y de controlar. Dado que sería proporcional al uso que dan los agricultores al agua regenerada, también sería eficiente (crea el incentivo correcto) y equitativo entre los agricultores con distintas tasas de captación. Si se desea o necesita ahondar en ello, también se podrían aplicar subvenciones a la construcción de infraestructura para transportar y distribuir el agua regenerada a los campos de los agricultores.

### 3.4.3. Financiación del proyecto

Finalmente, considerando lo anterior, se deben hacer propuestas para financiar el proyecto, considerando las diversas fuentes disponibles y la solución más apropiada para nuestro caso. Las opciones son las siguientes:

- Recuperación de costos a través de cobros y tarifas a los usuarios (por ej. cobros a los agricultores o tarifas por otros usos del agua dulce que se intercambia por aguas regeneradas);
- Préstamos o subvenciones externas a modo de concesión (por ej., provenientes de fondos ambientales internacionales o de la UE);
- Subvenciones de gobiernos centrales, regionales o locales para los costos de capital o recurrentes (por ej., en España, el gobierno regional de Cataluña anunció un programa de reutilización de las aguas regeneradas en el año 2009 que sería financiado por completo por el sector público, aunque algunos proyectos pueden implicar una financiación conjunta con municipalidades o empresas locales de agua;<sup>26</sup>)
- Capital de usuarios privados de las aguas regeneradas (por ej., en el delta del río Tordera en España, un campo de golf financió tubos y bombas para transportar las aguas regeneradas y una comunidad de usuarios de riego financió las tuberías, una estación de extracción y un embalse);
- Empresas privadas dedicadas a la regeneración y/o adquisición de las aguas regeneradas para luego venderlas a los agricultores u otros usuarios. Estas empresas se financian normalmente en los mercados comerciales y generalmente operan a través de una concesión otorgada por un organismo público. Esto puede implicar una inversión considerable en plantas de tratamiento de aguas residuales, por ej., en el caso de la planta de Atotonilco en México, que tiene el objetivo de tratar aguas residuales para ser utilizadas en el riego, se invita a presentar ofertas del tipo Construcción, Explotación y Transferencia (CET) con un 49% de los costos provenientes del Fondo Nacional de Infraestructura y el resto proveniente de concesionarios privados. Las plantas de Matahuala y El Morro tendrán estructuras de financiación y objetivos similares-DCET<sup>27</sup> y CET, respectivamente)<sup>28</sup>;
- Los ahorros en los servicios de aguas municipales debido a los gastos que se evitan por utilizar soluciones alternativas, como pudieran ser la construcción de tuberías para transportar agua dulce desde lugares distantes o la construcción, operación y mantenimiento de plantas de desalinización. Cuando los costos de estas alternativas han sido considerados en los presupuestos públicos, los proyectos de reutilización pueden absorber parte de estas asignaciones.

<sup>26</sup> *Global Water Intelligence (GWI)*, Agosto 2009, p. 14.

<sup>27</sup> Diseño, Construcción, Explotación y Transferencia.

<sup>28</sup> *GWI*, Agosto 2009, p. 51-52.

### ANEXO DEL CAPÍTULO 3: ORIENTACIÓN ADICIONAL ACERCA DE LA METODOLOGÍA DE COSTO-BENEFICIO Y EL ANÁLISIS COSTO-EFICACIA QUE SE RELACIONA CON LA EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS PROYECTOS DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS.

Se incluyen los siguientes temas:

- 3A1. Ajuste de las distorsiones económicas
- 3A2. Impuestos, subvenciones y pagos transferidos
- 3A3. Ítems comercializables, no comercializables y no cuantificables
- 3A4. Valor de la salud y la enfermedad
- 3A5. Costos
- 3A6. Beneficios
- 3A7. Estimación de las tasas de actualización
- 3A8. Análisis y evaluación del riesgo

#### 3A1. Ajuste de las distorsiones económicas

Si el precio del producto de un proyecto se distorsiona considerablemente, es posible que se haya tomado la decisión incorrecta. Anteriormente, gran parte de la bibliografía estaba a favor del uso de moneda extranjera como *numerario* para expresar los costos y beneficios. En los últimos tiempos, la amplia liberalización económica, tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo, ha reducido la necesidad de efectuar ajustes importantes a los precios<sup>29</sup>.

Es posible que aún persistan distorsiones en los precios de bienes y factores de producción, como la tierra y la mano de obra, especialmente cuando existen importantes barreras al comercio o cuando la moneda nacional se encuentra altamente sobre o subvalorizada. Ciertos productos también pueden encontrarse distorsionados (por ej., energía, agua) mediante subsidios o impuestos. En estos casos, será necesario efectuar algunos ajustes a los precios reales.

Dadas estas circunstancias, las opciones generales consisten en usar *precios nacionales*, eliminando las distorsiones más considerables a través de ajustes *ad hoc*, mediante una unidad de cuenta en moneda extranjera, convirtiendo los valores nacionales en *precios en la frontera* equivalentes. Llegar a obtener un conjunto de valores en la frontera puede ser un ejercicio complicado y no siempre será viable en todos los casos.

#### 3A2. Impuestos, subvenciones y pagos transferidos

Los valores deben excluir impuestos, subvenciones y otros pagos transferidos sobre la base de que, para el país como un todo, simplemente se trata de pagos transferidos entre diversos grupos. Estas transferencias no representan valores de escasez reales, por el contrario, pueden esconder el verdadero costo de oportunidad del ítem. Los impuestos a la renta y corporativos deben excluirse del análisis, así como también los principales impuestos indirectos que afectan al proyecto (por ej., impuestos de exportación, aranceles de importación, impuestos sobre el consumo) y subvenciones y otras transferencias entre ciudadanos y el estado. Por otro lado, otros cobros y derechos que representan el pago de servicios reales, así como los beneficios que corresponden a los servicios entregados, deben incluirse como costos y beneficios respectivamente.

#### 3A3. Ítems comercializables, no comercializables y no cuantificables

Los *ítems comercializables*, como el petróleo, maquinaria y tuberías, pueden valorarse según su precio en la frontera (valores de importación o exportación, convertidos al tipo de cambio existente). Las importaciones se deben valorar CIF (costo, seguro y flete, que representa los costos de los recursos

<sup>29</sup> El Tesoro del Reino Unido recomienda: “Los costos y beneficios normalmente deben basarse en los precios de mercado debido a que generalmente reflejan los mejores usos alternativos que se les podría dar a los bienes y servicios (costo de oportunidad)....” (*Libro Verde* Tesoro del Reino Unido, versión 2004).

para la economía) y las exportaciones FOB (franco a bordo, que excluye los costos de transporte). Cuando el tipo de cambio actual es sustancialmente distinto a los niveles estimados de equilibrio de libre mercado, se deben utilizar estos últimos en el caso de que puedan ser inferidos de manera precisa (por ej., en base a las estimaciones de la paridad del poder adquisitivo). Algunos bienes y servicios no se comercializan realmente, aunque podrían tener un mercado externo y un precio en la frontera. Ejemplos relacionados con los proyectos de reutilización incluyen los cultivos producidos para el propio consumo de los agricultores, energía eléctrica, etc. Los principios de valoración de estos ítems son los mismos que para los bienes que realmente se comercializan.

Los *ítems no comercializables que se venden localmente* incluyen la tierra, agua y otros servicios públicos etc. En la práctica, muchos bienes que tienen un bajo valor cuando no se venden en gran volumen no son comercializables, por ej., ladrillos, ripio, agua, pero en ciertas circunstancias pueden comercializarse. En principio, deben valorarse según el criterio general de *beneficio social marginal para los consumidores*. Ciertos ítems, como la tierra y la mano de obra pueden estar sujetos a principios de valoración específicos que se analizaron previamente.

En resumen, los ítems que son real o potencialmente comercializables deben valorarse a su precio en la frontera. La valoración de los ítems no comercializables es más difícil: en muchos casos, se pueden utilizar precios de mercado cuando reflejan de manera razonable el beneficio social marginal. En áreas como la salud, educación y medioambiente se aplican métodos de valoración específicos a ciertos ítems no comercializables comunes.

### 3A4. Valor de la salud y la enfermedad

La Sección 3.2.3. describe cómo los AVAD y los AVAC pueden utilizarse para medir el efecto de un proyecto de reutilización en la salud pública. El análisis de costo-eficacia puede elegir la mejor opción para lograr un resultado dado en salud pública definido mediante el AVAD/AVAC. Sin embargo, en ciertas circunstancias, se opta por estimar el valor económico de los estados de salud (AVAD/AVAC) que resultan de estos proyectos.

Todos estos métodos de estimación crean controversia y plantean problemas metodológicos importantes. A continuación se describen dos posibles enfoques:

*Inferir a partir de decisiones relacionadas con políticas (Preferencia Revelada)*: en este enfoque, el valor implícito del estado de salud se infiere a partir de la elección de medidas sanitarias y de seguridad específicas por parte de quienes están a cargo de las políticas (por ej., se calculó que un programa que destina el gasto de \$1 millón en medidas de salud pública produciría 50 AVAC, lo que implica una valoración de \$20 000 por AVAC). Se cree que algunas administraciones de salud pública puedan utilizar valores e umbral para los AVAC al momento de asignar recursos entre las diferentes intervenciones sanitarias, de una manera costo-eficaz. En principio, estos valores de umbral pueden utilizarse para inferir la valoración que los responsables de las políticas<sup>30</sup> dan a un AVAC.

*La valoración directa de los cambios en el estado de salud* debido a medidas de salud pública puede efectuarse mediante una o las dos técnicas siguientes:

- disposición a pagar; cuánto están dispuestos a pagar las personas (DAP) para evitar una enfermedad, accidente o incapacidad en particular;
- uso del enfoque de *capital humano* para medir los beneficios en términos del ingreso que una persona podría obtener por evitar una incapacidad.

A pesar de que aún continúa la búsqueda de un método de estimación aceptable sólido, existen desafíos metodológicos importantes, así como también desde el punto de vista social y político. En un estudio autorizado realizado recientemente se concluye que:

<sup>30</sup> Sin embargo, las autoridades públicas se muestran reticentes a revelar de manera explícita estos valores de umbral. Ver Asim y Petrou (2005)

“No existe, de hecho un método comúnmente acordado para valorar los AVAC, lo que plantea la interrogante sobre cuál es la mejor decisión en cuanto al beneficio económico de los programas o intervenciones de salud”. (Asim y Petrou, 2005).

### 3A5. Costos

#### *Puntos generales*

La noción de costos de oportunidad debe estar presente en la manera en que se abordan los costos en un ACB. El costo de un proyecto es la pérdida para el resto de la sociedad de utilizar los recursos para ese fin. Los costos ya incurridos en el punto de decisión (por ej., un proyecto construido parcialmente) no deben considerarse para los fines de la decisión. Los *costos hundidos* deben ignorarse y sólo deben considerarse los *costos incrementales*. Si el proyecto provoca una *pérdida de los beneficios*, también se considera un costo (por ej., frenar un humedal para construir una planta de tratamiento de aguas residuales).

Los costos pueden ser *tangibles* (por ej., salarios) o *intangibles* (por ej., pérdida del servicio, destrucción del hábitat de la flora y fauna). En principio, ambos se deben considerar en el análisis: existen técnicas disponibles para estimar los costos y beneficios que no son de mercado (Figura 3.1).

Los costos pueden ser *internos* del proyecto o *externos* al proyecto (*externalidades*). Una externalidad es el efecto en el proyecto que no afecta directamente al patrocinador de éste y que el patrocinador privado no considera normalmente como un factor en la decisión para continuar con el proyecto. Las externalidades pueden ser tangibles o intangibles y pueden ser costos o beneficios. *Los organismos públicos deben asegurar que se vean reflejadas en la decisión del proyecto, utilizando diversos métodos de valoración posibles.*

#### *Ítems de costo específicos*

Ciertos *costos financieros* deben excluirse de un ACB. Incluyen impuestos y valores de transferencia que ya han sido analizados y *provisiones* por depreciación. La depreciación es un elemento contable que se utiliza para maximizar ventajas fiscales, al distribuir el gasto en un activo de capital a lo largo de su vida útil y no corresponde al costo de oportunidad real. Los *cobros de capital* representan los costos financieros anuales de la inversión (interés y reembolsos de capital). Algunos proyectos incluyen pagos a un *fondo de amortizaciones*, cuyo objetivo consiste en crear los fondos necesarios para reemplazar el proyecto en el futuro o pagar la deuda inicial. En ambos casos, un ACB capta el punto de actualización. Un proyecto que logra un VAN positivo a una tasa de actualización que refleja el costo de capital, por definición puede recuperar todos sus costos de capital durante su vida útil.

El uso de recursos naturales no renovables (por ej., aguas subterráneas fósiles) o bien, el uso de recursos renovables más allá de su tasa de recuperación (por ej., aguas subterráneas o agua almacenada proveniente de flujos fluviales) son similares a los proyectos mineros. Parte de su costo es el *costo de agotamiento* o *costos del usuario* por utilizar recursos finitos. Conceptualmente, este costo aparece en el futuro, por lo cual se deben obtener recursos alternativos antes que el resultado del consumo de un proyecto en el día de hoy. El costo de agotamiento o del usuario es el valor del gasto adicional futuro necesario para explotar fuentes naturales alternativas o, de manera más precisa, el costo actualizado de adelantar en años (por ej., uno) el uso de las alternativas, cuando se encuentren disponibles.

Las *contingencias* que se incluyen en los presupuestos de costos son de diversos tipos. Las *contingencias físicas* son cantidades adicionales de trabajo, materiales, partes de equipos, etc., incluidas por mayor seguridad, dado que si no se provisionan los costos de dichos ítems adicionales podría haber un efecto desproporcionado sobre el proyecto. Sin embargo, deben excluirse del ACB porque la hipótesis de base debe ser la mejor estimación posible de los costos y contenido del proyecto. Las *contingencias de precios* cubren los aumentos de costos que pueden surgir sobre los precios utilizados en el escenario de la hipótesis de base. Pueden ser provisiones contra la inflación general, las que deben excluirse dado

que el análisis debe realizarse con precios constantes. En principio, la hipótesis de base debe contener la mejor estimación de costos que pueda lograr el analista y la incertidumbre real, al incluir un ítem como pasivo contingente (ver a continuación).

Los *pasivos contingentes* son costos reales que deben incluirse. Son los costos de los compromisos que recaen sobre el patrocinador o gobierno, si suceden ciertos eventos (por ej., garantías o garantías de cumplimiento que se requieran, multas por cancelación, indemnizaciones). La probabilidad (valor esperado) de estos eventos, descontada de acuerdo al año(s) en que puedan suceder, son costos reales que deben incluirse en el ACB.

También es probable que en los proyectos de reutilización surjan los siguientes ítems de costo:

- *Tierra*. El costo de oportunidad de la tierra es su valor en su mejor uso alternativo. En un mercado sin distorsiones y que funciona libremente, esto se ve reflejado en el precio de mercado. Sin embargo, la tierra con frecuencia es considerada como que no tuviese costo para el proyecto e inútil para otro fin, sin embargo en realidad siempre tiene un uso alternativo que puede ser mucho más valioso que el valor propuesto.
- *Mano de obra*. En la mayoría de los países, los mercados laborales no se “transparentan” de manera adecuada, dado que los salarios se ajustan a los precios de los trabajadores que toman y dejan sus trabajos. El desempleo puede mantenerse, ya sea debido a su naturaleza crónica, estacional o estructural (por ej., inmediatamente después del cierre de un importante empleador local). Al utilizar un *salario sombra* inferior al salario real pagado se puede corregir esta dispersión y puede ser un mejor reflejo del verdadero costo de oportunidad de la mano de obra. Si bien es teóricamente correcto en ciertos casos, se ha dado un mal uso a esta práctica y debe usarse con precaución y de manera escéptica. Incluso, con el gran desempleo rural que generalmente existe, en ciertas ocasiones se produce la escasez de mano de obra. A excepción de aquellos proyectos en que la creación de empleo es el objetivo principal, los costos de mano de obra no deben ingresarse como un beneficio del proyecto.
- *Materias primas y energía subsidiadas*. Los proyectos pueden beneficiarse gracias a la presencia de abundantes recursos locales, como energía hidroeléctrica, petróleo, agua, etc., que se entregan al proyecto a un costo menor al de mercado. No obstante, el ACB debe incluir estos ítems con su valor de oportunidad, el cual puede ser su precio como ítems exportables (netos de transporte, etc.), su valor en otros usos o el futuro beneficio de no utilizarlos y preservarlos para después (petróleo, agua almacenada, etc.).

### 3A6. Beneficios

#### *Superávit de consumidores y productores*

El logro de bienestar gracias a un proyecto es la suma de los superávits de los consumidores y productores que genera. El *superávit de los consumidores* es la diferencia que existe entre lo que los consumidores estarían dispuestos a pagar (o lo que ya han pagado previamente) y lo que realmente tienen que pagar con el proyecto. Es probable que esta categoría de beneficio sea importante para bienes y servicios que no tienen precio o cuyos precios caen para reflejar sus verdaderos valores. Algunos ejemplos son: mejoramiento en el suministro de agua doméstico, servicios de riego más fiables, etc. La cantidad real anteriormente pagada (efectivo, tiempo) sirve de referencia para medir el bienestar. Cuando no se disponga de ella, se pueden llevar a cabo encuestas de disposición a pagar (DAP) o se pueden utilizar datos provenientes de transferencias de beneficios (ver a continuación).

El *superávit de los productores* es la diferencia entre el precio del producto obtenido y el costo unitario de producción, normalmente equivalente para lograr utilidades. Puede ser obtenido por productores en diversas circunstancias, públicos o privados, de mercados competitivos o monopólicos. Se aplica a los servicios de agua y otros proveedores de aguas residuales tratadas cuya situación económica y financiera cambia por un proyecto. El hecho de que muchas empresas de servicios de agua, plantas



de tratamiento de aguas residuales y organismos de riego operen con pérdidas financieras debido a sus políticas de tarifas no invalida este concepto (el superávit puede ser negativo, pero aún así ser mayor o menor como resultado de un proyecto de reutilización).

### *Transferencia de beneficios*

Se está utilizando cada vez más el método de transferencia de beneficios para obtener valores para el ACB, en que la alternativa era realizar encuestas largas y complicadas. Esto se aplica especialmente en las evaluaciones ambientales y sanitarias. El método consiste en acceder a bases de datos de estudios empíricos existentes en el sector específico y extraer datos según las características más relevantes del proyecto en evaluación.

### *Mayores beneficios sociales y económicos*

Los proyectos de reutilización del agua pueden fomentarse gracias a una serie de efectos positivos, que van más allá de aquellos cuantificados en el ACB. Éstos incluyen la creación de empleos, efectos multiplicadores a nivel regional, vínculos hacia adelante y hacia atrás en la economía local y regional, etc. La convención normal consiste en tratar los proyectos como *marginales*, en el sentido de que no tienen un efecto sustancial en otros sectores o proyectos y que no afectan de gran manera el precio de sus mayores insumos o productos.

Un proyecto puede tener *vínculos hacia adelante* al beneficiar sectores que utilizan su producto (por ej., agua de riego, agua adicional para el uso urbano o industrial) o *vínculos hacia atrás* con quienes suministran los insumos de un proyecto (por ej., servicios de extracción, equipos de tratamiento de agua, mantenimiento). En regiones en que existe escasez de agua, el agua adicional que se podría obtener a través de la reutilización puede tener claros vínculos hacia adelante para los sectores que utilizan el agua.

Los *efectos multiplicadores* se dan cuando un proyecto de inversión en un área con exceso de capacidad genera sucesivas rondas de gastos, al igual que la inyección de fondos original a través de la economía local. En teoría, el aumento eventual total de los ingresos es un múltiplo de la inversión original. En la práctica, el gasto del proyecto de inversión “chorrea” de diversas maneras, por ejemplo, a través de mayores precios de bienes y servicios donde no existe capacidad de reserva e importaciones desde el exterior o desde otras regiones. Dichos efectos debilitarían el efecto multiplicador.

## **3A7. Estimación de las tasas de actualización**

Como se mencionó en el texto principal de este capítulo, existen varios criterios para elegir la tasa de actualización, los dos más comunes son la tasa social de preferencia temporal (TSPT) y el costo de oportunidad (CO) del capital.

La TSPT se obtiene de las estimaciones de la tasa neta de preferencia en el tiempo, la utilidad marginal de los ingresos y el crecimiento esperado en los ingresos per cápita (ver Cuadro 3.1). Los dos primeros componentes no se pueden observar directamente y el tercero es un pronóstico. El Cuadro 3.1 indica cómo el cambio de valores de la TSPT en países en diversas etapas de desarrollo afecta la tasa global de TSPT. Los resultados son a modo de ejemplo y no deben ser tomados como una guía para un país específico.

Las estimaciones del CO pueden ser guiadas mediante observaciones de los mercados de capital nacionales, en especial la tasa de retorno real de largo plazo del capital privado, ajustado por el riesgo. Esto puede ser viable en países con mercados de capital y financieros sólidos y líquidos, ya que muchos países pobres tienen mercados de capital limitados en que las tasas de retorno sobre el capital no son lo suficientemente transparentes. En mercados de capital restringidos, los gobiernos pueden pedir prestado fondos a tasas artificialmente bajas, por lo tanto ésta no siempre es una referencia fiable al elegir la tasa de actualización. El CO mínimo puede ser considerado como lo que el gobierno receptor hubiese ganado al depositar los fondos de manera segura en mercados financieros internacionales, ajustados por el riesgo del tipo de cambio.



CUADRO 3.1.

**Cuadro 3.1. Estimación de la tasa social de preferencia temporal**

La preferencia temporal de la sociedad se obtiene a través de la fórmula:

$$S = p + u \cdot g$$

donde:

S = tasa social de preferencia temporal

p = tasa neta de preferencia en el tiempo, tasa a la cual se descuenta la utilidad

u = tasa a la cual la utilidad marginal disminuye en la medida que aumenta el consumo

g = crecimiento esperado del consumo per cápita.

En los países desarrollados, generalmente se dan estos parámetros:  $p = 2\%$ ;  $u = 1,5\%$ ;  $g = 2\%$ , con un valor de  $s$  de  $5,0\%$

En un país pobre en vías de desarrollo con expectativas de crecimiento se pueden sustituir los valores de  $p=5\%$  y  $g=3\%$  y  $s = 6,5\%$ .

En un país pobre, con pocas o nulas expectativas de crecimiento, el mayor valor para  $p$  sería compensado total o parcialmente por valores bajos o negativos de  $g$ .

Fuente: OCDE, (1995) p. 130.

**3A8. Análisis y evaluación del riesgo***Evaluación del riesgo*

Durante el análisis, los analistas deben identificar las principales áreas de riesgo a las cuales está expuesto el proyecto. Algunos riesgos son comunes en todos los proyectos, otros específicos según el proyecto. Ejemplos de *riesgos genéricos* son la demanda del bien o servicio, el precio del producto, los costos de construcción y el período de implementación, posibles problemas de financiación, contrapartes que no cumplen compromisos, tecnología no probada, fracaso en la obtención de la oportuna aprobación de la planificación, etc. Para proyectos complejos y de gran envergadura puede ser útil reunir un *registro de riesgos*.

El siguiente paso consiste en determinar la importancia de los riesgos identificados, lo cual requiere tener en cuenta:

- el posible rango de desviación de los valores utilizados en la hipótesis de base y
- las probabilidades de que se produzcan estas desviaciones.

A excepción de los proyectos de mayor envergadura, no será viable llevar a cabo esta rutina para todos los riesgos. Un enfoque más pragmático consiste en consultar la opinión profesional y revisar experiencia anterior, con el fin de identificar los riesgos más importantes y las magnitudes viables de su posible desviación respecto de los valores de la hipótesis de base. La hipótesis de base debe incorporar la mejor información posible acerca del proyecto (valores esperados), mientras que los datos acerca de las posibles desviaciones deben mantenerse para el análisis de sensibilidad (ver a continuación).

*Gestión y mitigación de los riesgos*

Una gestión de riesgos activa implica la identificación anticipada de riesgos y la creación de mecanismos para reducir al mínimo la posibilidad de que ocurran. Para ello se requieren procesos para controlar los riesgos y recopilar información, además de controles para mitigar las consecuencias adversas.

El posible efecto de los riesgos en la hipótesis de base puede demostrarse a través de un análisis de sensibilidad. Las posibles variaciones de las variables fundamentales del proyecto se someten a prueba para verificar su impacto sobre el VAN/TIR de la hipótesis de base. Por ejemplo, si una reducción de los beneficios en un 20% (por ej., captación de agua reciclada por parte de los agricultores) en comparación con la hipótesis de base reduce la TIR a un 4%, mientras que el aumento en los costos de operación (de la planta de tratamiento extracción) de la misma proporción sólo reduce la TIR a un

6%, esto indicaría que el proyecto es más sensible a la disminución de beneficios que al aumento de los costos de operación esperados. La lección que pueden sacar los planificadores de proyectos es que deben concentrarse más en asegurar la demanda que en malgastar tiempo ajustando costos.

Otra manera de presentar esta misma información es a través del uso de *valores de cambio*. Estos valores muestran, para cada variable importante del proyecto, cuánto necesitaría cambiar para reducir el VAN a cero. Las variables que no son fundamentales para el proyecto pueden variar significativamente antes de tener un efecto en el VAN, mientras que ítems altamente sensibles sólo necesitarían variar en una pequeña proporción para poner el proyecto en problemas.

El resultado de la prueba de sensibilidad y de los valores de cambio es una opinión acerca de cuán *sólido* es el proyecto si cambian sus variables clave.

### *Percepción, afición y aversión al riesgo*

El análisis anterior se basa en el supuesto de que los patrocinadores y partes interesadas del proyecto tienen una posición *neutra frente al riesgo* y que la evaluación de los riesgos es objetiva y comúnmente aceptada. Sin embargo, esto puede llevar a engaños, dado que en los temas relacionados con el agua existen importantes percepciones subjetivas y actitudes frente al riesgo.

Muchos riesgos supuestamente “objetivos” tienen un alto componente subjetivo cuando se trata de riesgos nuevos y complicados. Las percepciones del riesgo por parte de una “opinión experta” pueden diferir ampliamente de las del público en general o de grupos que se consideran expuestos a un riesgo específico. Los posibles riesgos para la salud pública por el uso de aguas regeneradas para regar cultivos alimentarios objetivamente pueden ser muy bajos, pero la opinión pública puede desconfiar de las opiniones “expertas” acerca esta materia.

En el contexto de este informe, un agricultor puede perder mercado para un cultivo si los incidentes de salud pública pueden rastrearse hasta llegar a su finca. No puede ignorarse la *afición por el riesgo* del patrocinador y las partes interesadas. En teoría, se pueden contemplar diferencias en la percepción de los riesgos y en la afición por los riesgos, agregando ponderaciones a la *utilidad* (así como probabilidades) a los diversos resultados posibles para producir una *utilidad esperada*. Una solución práctica consiste en presentar los riesgos de tal forma que sean comprensibles para que quienes toman las decisiones y utilizar reglas de decisión a la medida de las preferencias de riesgos del patrocinador (ver a continuación).

### *Irreversibilidad y riesgos especiales*

Cuando la incertidumbre futura es particularmente importante para un proyecto, existe un *valor de opción* de tener la libertad de seguir adelante o no. La demora en la toma de una decisión da tiempo para reunir datos y evidencia, mientras que implementar el proyecto inmediatamente elimina esta opción. Esto es particularmente grave si el proyecto tiene efectos *irreversibles*, por ejemplo, sobre el entorno natural. La postergación puede justificarse cuando existen probabilidades de contar con datos relevantes (el valor de esos datos adicionales se denomina *valor de cuasi opción*).

Una de las decisiones más difíciles de tomar se relaciona con los problemas *cero-infinito*, por ejemplo, riesgos con una baja probabilidad pero con una alta severidad (por ej., la contaminación irreversible de un importante acuífero o la extinción de especies protegidas debido a la construcción de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales en el área de un humedal). Utilizando el marco normal de valores esperados (resultados x probabilidad), es poco probable que a dichos eventos se les asigne la ponderación justa en la decisión. Es posible recurrir en dichos casos al Principio de Precaución<sup>31</sup> y los

<sup>31</sup> “...cuando existen amenazas de un daño grave o irreversible al medioambiente, la falta de una total certeza científica no se debe utilizar como una razón para retrasar medidas costo-eficaces para evitar la degradación ambiental”. (Gilpin, 1996, p. 178).

encargados de las políticas pueden preferir evitar los riesgos por completo, o bien tomar excesivos resguardos en contra de sus consecuencias.

### *Información para gestionar el riesgo*

Los resultados del ACB deben presentarse a los patrocinadores, tomadores de decisiones y otras partes interesadas de una manera informativa en función de sus respectivas filias y preferencias por el riesgo. Reducir los resultados de un ACB a un solo indicador (TIR, VAN, ACB, etc.) y no hacer nada más es un desperdicio de información y no dará respuesta a las ansiedades y necesidades de los patrocinadores. La elección de indicadores y reglas de decisión que se presentarán debe realizarse después de consultar con los patrocinadores y de revisar sus actitudes frente al riesgo. Cuando los riesgos son particularmente importantes, los indicadores básicos (VAN, etc.) deben ser acompañados por datos completos que muestren los resultados del análisis de sensibilidad y los valores de cambio, destacando los posibles escenarios más adversos.

La mayoría de los proyectos podría beneficiarse de un estudio más detallado. Sin embargo, esto demanda tiempo y recursos, además de demorar el inicio del proyecto, lo cual por sí mismo ya conlleva costos. Se debe tomar una decisión acerca de si los beneficios de largo plazo de un mejor proyecto, con menos incertidumbres y menos riesgo, justifican los mayores costos de corto plazo por la realización de estudios, pruebas y por diferir los beneficios ¿Cuánto mejor podría ser la decisión si se espera?, ¿vale la pena esperar?

El análisis de sensibilidad puede indicar las áreas del proyecto en que la reducción de la incertidumbre podría traer beneficios particulares, al reducir una variación a la baja o al mejorar las posibilidades de un movimiento al alza. Esto permite que el analista se enfoque en el *valor de la información*, es decir, la suma que sería conveniente gastar en obtener información adicional, en relación con el posible beneficio para los retornos esperados del proyecto.



## Capítulo 4

# Resultados y conclusiones de los estudios de casos

*En este capítulo se muestra cómo se puede aplicar la metodología económica descrita en el Capítulo 3 en la elección y evaluación de proyectos relacionados con la reutilización de aguas regeneradas tanto en agricultura como - para otros fines. Los casos presentados en el presente capítulo se basan en situaciones reales de España y México descritas ya en el Capítulo 2.*

*Si bien la selección y el análisis de los datos ha sido minucioso, los resultados presentados no se deben considerar como un estudio de viabilidad - determinante de los proyectos en cuestión. Los ejemplos pretenden mostrar un método de evaluación, el tipo de datos que se debe recopilar, la manera en que los tomadores de decisiones pueden interpretarlos y cómo los proyectos pueden ser económicamente viables. Un estudio de viabilidad completo debería ser parte del proceso de planificación descrito más detalladamente en el Capítulo 5.*

### 4.1. ESPAÑA: DELTA DEL LLOBREGAT

#### 4.1.1. Situación general

El delta del río Llobregat abarca aproximadamente 100 kilómetros cuadrados de tierra y se encuentra en la zona nororiental de España, contigua a la gran ciudad de Barcelona. Es un valioso hábitat natural, encontrándose bajo la implacable presión del crecimiento urbano e industrial de la ciudad. El río ha sido contaminado y degradado en gran medida y el acuífero subterráneo, ampliamente utilizado por todos los sectores, está sufriendo la intrusión marina. El caudal del río es muy variable y la principal alternativa de fuente de agua se encuentra alejada. En los períodos secos, los agricultores compensan la disminución de las aguas superficiales con una mayor extracción de aguas subterráneas, a pequeña escala se empieza a usar la mezcla de aguas regeneradas con estas aguas subterráneas. Las aguas regeneradas también se usan para recargar los acuíferos subterráneos y para otros fines ambientales.

En este contexto, la autoridad regional del agua está considerando reutilizar las aguas regeneradas en sus futuras estrategias hídricas. Existe un gran volumen de aguas regeneradas disponible, tratado en los niveles secundario y terciario, y las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes se están modificando para reducir la salinidad de este efluente. Existen planes para reutilizarlo en la agricultura, para diversos fines ambientales, y en la industria, lo que permitiría el cambio de uso de agua dulce para las ciudades lo que ayudaría a reducir el agotamiento del acuífero.

#### 4.1.2. Especificación de las opciones preferidas

Tras una selección preliminar, se ha elegido una opción preferida para realizar una evaluación adicional en las dos principales plantas de tratamiento de aguas residuales del delta, Sant Feliu de Llobregat (Sant Feliu) y El Prat de Llobregat (El Prat) (Cuadro 4.1).

El agua regenerada de la planta de tratamiento de aguas residuales Sant Feliu se podría usar en las fincas de la margen izquierda del río Llobregat. El agua regenerada podría llevarse a través del Canal de la Infanta hacia las tierras agrícolas y el agua dulce liberada podría estar disponible para aumentar el río Llobregat y los acuíferos locales.

En la planta de tratamiento de aguas residuales El Prat, el efluente se extrae aguas arriba y se dirige hacia un estanque regulador desde el cual el agua fluirá hacia el Canal de la Dreta. En la actualidad, se transporta agua dulce a través de este canal con una conductividad media de 1,5 dS/m desde el río

CUADRO 4.1  
Opciones preferentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales de Sant Feliu y El Prat

**Sant Feliu: especificaciones del proyecto**

Construcción de una nueva unidad de tratamiento terciario en la planta de tratamiento de aguas residuales, lo que implica un aumento del volumen de las aguas tratadas y una reducción de los nutrientes; Instalación de una red de tuberías para transportar el agua regenerada para usos municipales, recreacionales y agrícolas; Mayor uso de agua regenerada en el regadío de fincas a través del Canal de la Infanta en la margen izquierda del río Llobregat; Los agricultores liberan el agua dulce que utilizan, que en la actualidad se extrae del Canal de la Infanta.

**El Prat: especificaciones del proyecto**

Construcción de una unidad de electrodiálisis inversa para reducir la salinidad del agua regenerada en Sant Boi; Extracción del agua regenerada desalinizada para regadío del Canal de la Dreta; Distribución del agua regenerada a los agricultores; Uso de agua dulce liberada por los agricultores para abastecimiento de agua doméstica urbana.

**Impactos previstos del proyecto**

Reemplazo de la extracción de agua superficial (del río Llobregat); Reemplazo de la extracción de aguas subterráneas realizada por los agricultores (3 hm³/año), lo cual implica un ahorro en los costos de extracción; Mayor disponibilidad de agua, calidad y fiabilidad; Los agricultores abandonan la agricultura de secano y realizan regadío en toda el área cultivada (+ 14,5%) con un aumento de sus ingresos por ventas netas; Reducción del uso de fertilizantes.

**Impactos previstos del proyecto**

Se evita el uso de agua superficial y aguas subterráneas para la agricultura; Los agricultores ahorran costos en la extracción de aguas subterráneas; Mayor disponibilidad de agua, calidad y fiabilidad; Reducción del uso de fertilizantes; Se evitan costos de extracción de agua subterránea para uso doméstico.

Llobregat para regar las tierras agrícolas. El uso de aguas regeneradas para regadío requeriría la desalinización del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante electrodiálisis inversa y equipos que permitan bombearlo hacia el Canal de la Dreta y a un estanque de almacenamiento. La salinidad media del agua de regadío se reduciría de 2,9 a 1,2 dS/m. La red de distribución existente podría utilizarse para llevar el efluente hacia los campos.

La salinidad es un factor limitante fundamental en el regadío agrícola. La intrusión del agua de mar en el acuífero limita su uso por parte de los agricultores. Sin embargo, los agricultores se muestran reacios a usar las aguas regeneradas de El Prat por su salinidad (cuyo valor medio es 2 944 dS/cm), en parte debido a la presencia de minas de potasa en el sector norte de la cuenca hidrográfica.

*Análisis costo-beneficio: resultados*

Los componentes básicos para el análisis costo-beneficio se incluyen en la Tabla 4.1 e indican los costos de capital y anuales incurridos por las nuevas instalaciones propuestas, además de los beneficios totales esperados de la utilización de las aguas regeneradas y la reasignación de agua dulce para la ciudad.

TABLA 4.1.  
Costos y beneficios de los proyectos

Euros (millones)	El Prat: área de regadío 801 ha vol. del efluente 13,0 hm³/año	Sant Feliu: área de regadío 275 ha vol. del efluente 7,3 hm³/año
Costo de inversión de las nuevas unidades de tratamiento:	(Unidad de electrodiálisis inversa) 14,00	(Unidad terciaria) 1,12
Costo de tratamiento de operaciones y mantenimiento/año	2,6	0,51
Costo de llevar las aguas regeneradas/año	0,12	0,20
Costo de llevar el agua liberada para uso urbano/año	1,43	0,81
Nuevos beneficios netos para la agricultura/año	0,35	0,46
Valor del agua intercambiada para ser usada en la ciudad/año	14,43	8,12

Para este ejercicio, no se realizan ajustes a los valores nominales de mercado de los elementos de costo y beneficio. Para simplificar, se asume que se incurre en un costo de inversión total al final del año 1 y que surgen costos y beneficios recurrentes, que no cambian, en los años 2 a 25 (extender el análisis más allá de un período de 25 años no haría ninguna diferencia sustancial en los resultados).

En el caso de *El Prat*, los pasos son los siguientes (valores en millones de Euros):

- Beneficios netos (beneficios menos costos). Año 1: menos 14,00. Años 2 a 25: más 10,63.
- Si se aplica un factor de actualización de 6% a este flujo de beneficios netos se obtiene un **valor actual neto** de 114,54<sup>1</sup>. La correspondiente **relación costo-beneficio** se obtiene al comparar los valores actuales de los flujos de beneficio y costo separadamente, en este caso, 188,88 a 66,19 ó 2,85 a 1,0.

En el caso de *Sant Feliu*, los pasos correspondientes son:

- Beneficios netos. Año 1 menos 1,12. Años 2 a 25 más 7,06.
- Valor actual neto = 69,49
- Relación beneficio-costo = 109,65 a 20,47 ó 5,35 a 1,0.

Si los valores incluidos en la Tabla 4.2 son plausibles, entonces ambos proyectos serían muy atractivos en términos económicos para la autoridad regional del agua. El mayor beneficio, por un amplio margen, es el valor del agua dulce adicional disponible para la ciudad, mientras que el beneficio neto para los agricultores, si bien es positivo, es mucho menor. Si se realizara un *análisis de sensibilidad*, se demostraría que el valor actual neto total sería muy sensible a la magnitud de los beneficios del agua urbana que se asumen aquí. Por otra parte, el *valor de cambio* de los beneficios del agua urbana (la disminución porcentual que reduciría el valor actual neto de los proyectos a cero) también sería enorme, lo cual demuestra la solidez de los proyectos.

A continuación se presentan comentarios sobre las variables clave.

- *Costes de tratamiento de las operaciones y mantenimiento.* 0,2 €/m<sup>3</sup> por la desalinización realizada mediante electrodiálisis inversa, 0,07 €/m<sup>3</sup> por el tratamiento terciario.
- *Costes de transporte del agua regenerada y el agua dulce.* Costos de extracción de 0,11 €/m<sup>3</sup>. Es razonable suponer que la infraestructura existente sería suficiente para llevar el agua dulce adicional a la ciudad. El agua que no se usa para el Canal se transporta por el río hacia la planta de tratamiento de agua potable y el agua regenerada de la unidad de tratamiento terciario cruza el río mediante el uso de un sifón para llegar al Canal ubicado en las cercanías. Los costes de extracción serían mínimos.
- *Beneficios para la agricultura.* Se supone que un abastecimiento fiable de agua regenerada en Sant Feliu hace posible que el área de regadío aumente en un 14,5%. El beneficio está compuesto de un aumento de los ingresos por ventas (en millones de Euros) 0,388, un ahorro del costo de extracción de agua subterránea de 0,06, y un ahorro en fertilizantes de 0,01. En El Prat los beneficios implican un ahorro en los costos de extracción de aguas subterráneas de 0,32 y un ahorro en fertilizantes de 0,03. Se supone que no debería haber restricciones en la producción debido al uso del agua regenerada. También se supone que en esta etapa del análisis ninguno de los costos de tratamiento o transporte recaería en los agricultores.
- *Valor del agua intercambiada para ser usada en la ciudad.* Se calcula que alcanza 1,11 €/m<sup>3</sup>, según las tarifas actuales de esta región, lo cual es un cálculo muy conservador de su coste económico total.
- *Elección de la tasa de actualización.* La tasa utilizada es de un 6%, la misma que utilizan los consultores regionales.

<sup>1</sup> El valor actual de 1.0 al año durante 25 años a un 6% es de 12,78. Multiplicado por el beneficio anual neto real se obtiene un valor actual de 135,85. Dado que esto solo comienza en el año 2, se aplica un factor de actualización de 0.94 para generar un valor presente neto de 127,70. Al restar el costo de capital del año 1 (actualizado por la tasa del primer año a un 6%) se obtiene un valor presente neto de 114,54.



### 4.1.3. Implicaciones del análisis costo-beneficio

El coste de regeneración de agua (tratamiento y transporte adicional) no será compensado por el valor agregado en la agricultura debido al ahorro en fertilizantes, extracción de aguas subterráneas y los beneficios de cultivar áreas de regadío más extensas. Esto implica que ninguno de los sistemas estudiados tiene sentido económico como una medida de ahorro de los costos agrícolas, si no se considera los sistemas dentro de un contexto regional más amplio.

Sin embargo, al adoptar una visión más amplia de los proyectos en el contexto del crecimiento de la demanda urbana de agua, existen beneficios netos considerables al liberar agua del río para uso urbano. La escasez de agua en la región de Barcelona pudo haber sido uno de los factores de la reubicación de varias empresas fuera del área, y la sequía de los últimos cinco años ha restringido en gran medida el uso doméstico y municipal. Desde este punto de vista, el posible valor adicional del agua dulce para la ciudad en gran medida justifica los proyectos.

Además, ya existe la infraestructura necesaria para llevar agua de un lugar a otro, y el intercambio de agua tendría un costo relativamente bajo ya que todos los sitios clave se encuentran a poca distancia. También hay suficiente almacenamiento disponible, ya que el río está bien regulado durante la mayor parte del tiempo, salvo en contadas ocasiones de intensas lluvias aguas arriba.

Si bien los dos proyectos evaluados aquí parecen atractivos económicamente en cuanto a la creación de una estrategia de agua regional, se deberían comparar con otros medios de suministrar (además de conservar) agua urbana, para comprobar si los beneficios que ofrecen se pueden entregar de manera costo-eficaz; en otras palabras, con un costo menor que las alternativas. Esta prueba no se encuentra disponible para fines de este informe, por lo tanto, aquí no se presenta un análisis costo-eficacia.

La variable fundamental en el análisis costo-beneficio es la cantidad de agua dulce que realmente liberarían los agricultores para intercambiar con la ciudad. Es necesario que los agricultores estén convencidos del valor que tiene el intercambio para ellos mismos, los beneficios de un agua más fiable, los ahorros en la extracción de aguas subterráneas y los nutrientes del efluente son suficientemente sólidos para compensar el posible riesgo para la salud, el impacto en los servicios locales y el riesgo de las restricciones de producción. El análisis adopta una visión optimista de este factor.

Por otra parte, el análisis incluye dos fuentes de subestimación de los posibles beneficios del proyecto:

- i) Subestimación del valor del agua urbana. Este valor equivale a la tarifa del agua vigente, que es menor que su costo económico de suministro. Esto se comprueba incluso al permitir que el impuesto ambiental se incorpore al precio del agua, establecido por la Agencia Catalana del Agua (ACA), a fin de garantizar el suministro de agua a largo plazo de las ciudades y para mejorar la calidad actual de las aguas superficiales y subterráneas. En la práctica, solo un 23% del costo actual del agua y los servicios de saneamiento se recupera de la tarifa (Agència Catalana de l'Aigua 2007).
- ii) Los sistemas tienen otros beneficios, no cuantificados en el análisis: mejora del caudal del río, conservación de humedales, creación de una barrera hidráulica en contra de la intrusión del agua de mar y posiblemente proporcionar agua para uso industrial (consultar la Tabla 2.4 en el Capítulo 2).

### 4.1.4. Viabilidad financiera

#### *i) Impacto financiero sobre las principales partes interesadas*

##### *Agricultores*

En el área de Sant Feliu, el proyecto tendría un impacto relativamente pequeño en los costos de los agricultores a través de ahorros en la extracción y fertilización y el mayor beneficio serían los ingresos adicionales en las ventas, que se esperan de una expansión en la zona de tierra de regadío<sup>2</sup>. Los

<sup>2</sup> El supuesto de este análisis es que una expansión de esta naturaleza en el área de regadío solo sería posible mediante el uso de agua regenerada. De lo contrario, estos beneficios también se podrían obtener en la opción sin proyecto.

FIGURA 4.1A  
Infraestructura del proyecto

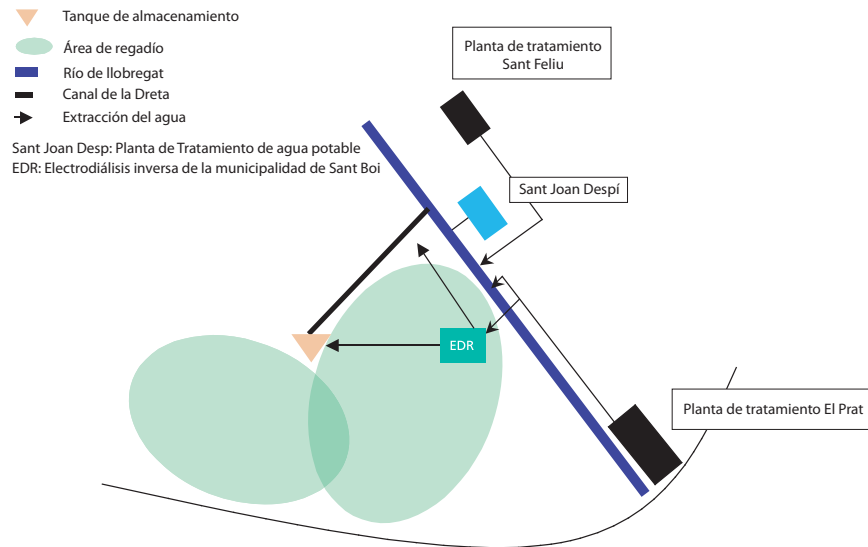
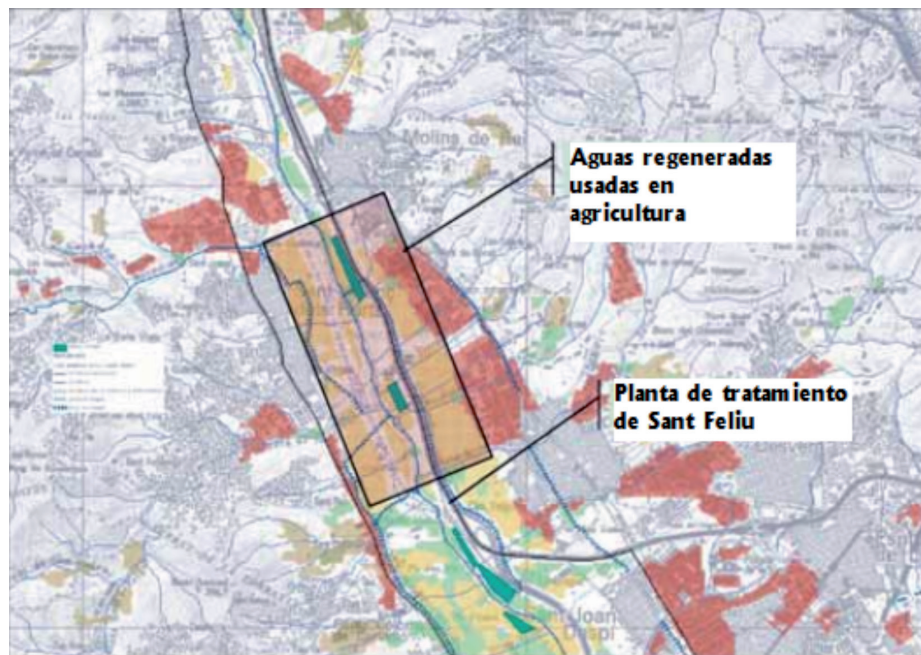


FIGURA 4.1B

**Mapa de la planta de tratamiento de aguas residuales y agua regenerada. Área de agricultura de regadío**



agricultores en el área de El Prat solo gozarían de los ahorros de costos por extracción y fertilización. Hasta la fecha, los agricultores han evitado usar agua regenerada debido a su alta salinidad, en comparación con el agua del río, pero con la nueva unidad de desalinización en las plantas de tratamiento, este factor desaparecería.

### *Municipalidad*

Dada la alta demanda de agua en la actualidad, la ciudad debería poder vender toda el agua recién liberada, al menos a la tarifa vigente del agua. La compañía del agua de la ciudad tiene restricciones a la hora de cargar la tarifa total y es posible que no pueda beneficiarse por completo de los ingresos adicionales de las ventas o los beneficios de los costes, producto de las economías de escala. Por lo tanto, es difícil predecir el impacto final de los proyectos en las finanzas municipales en esta instancia específica.

No obstante, existe el *potencial* de obtener ganancias fiscales. Los ingresos de las ventas adicionales de agua excederían los costos de capital y el costo incremental de operaciones y mantenimiento debido al intercambio. Si se implementaran los proyectos de la planta de tratamiento de aguas residuales y sus trabajos asociados, conforme a los datos de la Tabla 4.1, los servicios públicos de la ciudad obtendrían una ganancia financiera *anual* de 16,88€ millones<sup>3</sup>, a cambio de los gastos de inversión iniciales de 15,12€ millones. Cualquier decisión de subir las tarifas en términos reales mejoraría incluso aún más el atractivo financiero del proyecto. En otras circunstancias, la ciudad también ahorraría cuentas a pagar correspondientes a la contaminación por las aguas residuales liberadas de las plantas de tratamientos, pero en esta instancia, las aguas residuales tratadas van directamente al mar y no se generan cargos por contaminación.

Un documento completo de este proyecto debería, por supuesto, incluir una comparación de este sistema con el costo de otras opciones para entregar los mismos volúmenes de agua dulce, el cual no se encuentra disponible para este informe.

### *ii) transferencias e instrumentos financieros*

El análisis respaldaría la visión de que la mayoría de los costos, si no todos, de este proyecto se deben recuperar externamente a la agricultura. Conforme a estos datos, no existen muchos fundamentos para cargar a los agricultores un nivel de recuperación de costos de tarifas por uso de las aguas regeneradas, el cual debería ser aproximadamente 0,40 €/m<sup>3</sup> para El Prat y 0,22 €/m<sup>3</sup> en Sant Feliu<sup>4</sup>. Esto excede en gran medida la realidad de la agricultura española en la actualidad. Por otra parte, los niveles de las tarifas urbanas (1,1 €/m<sup>3</sup>) ya se consideran muy por debajo de los niveles de recuperación de los costos económicos y podrían existir posibilidades de subirlos, especialmente, cuando se deba gestionar la demanda en tiempos de escasez. Al no existir la obligación u otros tipos de restricciones administrativas, la participación voluntaria de los agricultores en el intercambio de agua dulce/agua regenerada puede depender de las subvenciones, ya que la oferta de agua regenerada gratuita podría no ser suficiente. Las negociaciones con los agricultores en conjunto con los consejeros agrícolas podrían generar acuerdos de cooperación con los compromisos realizados por cada una de las partes establecidas en los contratos.

La opción de los mercados en desarrollo para compra y venta de derechos de agua es una posibilidad teórica a largo plazo, la cual reemplazaría a un sistema de subvenciones. Los agricultores entonces podrían ser capaces de vender sus derechos de agua dulce a la ciudad, y recibir a cambio efectivo o agua

<sup>3</sup> La suma del valor anual de agua dulce intercambiada para uso en la ciudad, menos el total de los costos anuales (excluidos los costos de capital iniciales).

<sup>4</sup> Se calcula de la siguiente forma: El Prat: valor presente de los flujos de costos durante 25 años de 66,19€, dividido por el volumen anual de efluente de 13 hm<sup>3</sup> por 25 años actualizado a 6% = 0,398 €/m<sup>3</sup>. Sant Feliu: costos de valor presente de 20,47€, dividido por el volumen de efluente durante 25 años, actualizado a 6% = 0,219 €/m<sup>3</sup>.

regenerada. Dicho sistema dependería de si los agricultores tienen derechos legales seguros sobre una cantidad dada de agua dulce (de fuentes superficiales o acuíferos) y de la existencia de un marco legal nacional para realizar dichos intercambios.

### iii) *Financiamiento del proyecto*

En el delta del Llobregat, el costo de inversión de los proyectos de desarrollo hídrico es financiado en parte por programas de la Unión Europea y la Agencia Catalana del Agua. En 2009, el gobierno regional de Cataluña anunció un programa de reutilización de aguas residuales, el cual sería financiado en su totalidad por el sector público, aunque algunos proyectos tendrían un financiamiento conjunto con las municipalidades o empresas de agua locales<sup>5</sup>. En la vecina región de Aragón, el gobierno regional ha comenzado a implementar un importante programa de tratamiento de aguas residuales financiado por un modelo de asociación público-privada<sup>6</sup>. En otros países<sup>7</sup>, los proyectos de uso de aguas regeneradas han sido financiados a través de concesiones privadas de construcción, explotación y transferencia y otros tipos similares de concesiones. Dichas concesiones requieren la creación de una estructura de proyecto con un “*vehículo de proyecto especial*”, mediante el cual el concesionario recibe los ingresos del patrocinador público (*comprador*), ya que en muchos casos, es poco probable que sea viable la recuperación de los costos directamente de los agricultores.

## 4.2. DELTA DEL TORDERA Y COSTA BRAVA

### 4.2.1. Situación general

La mitad del delta del río Tordera se encuentra en el límite sur de la Costa Brava (costa de la provincia de Girona) y la otra mitad en el norte de la provincia de Barcelona, en el área nororiental de España. Incluye dos plantas de tratamiento de aguas residuales, en *Blanes* (Girona) y *Tordera* (Barcelona), ambas con tratamiento terciario. El efluente de Blanes se utiliza principalmente para recargar el acuífero a través de la descarga al río y la posterior infiltración en el lecho del río, el cual es muy permeable, también hay varios agricultores de la zona que lo utilizan para riego. El agua regenerada de Tordera actualmente se vierte en el río Tordera, pero una vez que sus bombas solares se encuentren operativas, el efluente también se utilizará para recargar el acuífero. Los agricultores de los alrededores dependen del agua subterránea, ya que el río Tordera está completamente seco durante los meses de verano, cuando la demanda de agua de los cultivos se encuentra en su punto máximo. Sin embargo, varios agricultores están comenzando a usar agua regenerada para complementar sus fuentes normales.

En el sector sur de Costa Brava, la planta de tratamiento de aguas residuales *Castell-Platja d’Aro* comenzó a suministrar efluente a los agricultores vecinos en 2003. La mayor parte de este efluente se trata con un nivel secundario, pero un 20% se trata con un nivel terciario y este se usa para regar campos de golf y recargar aguas subterráneas, y cuyo residuo se descarga en el mar. Existen planes inminentes para mejorar la capacidad de tratamiento terciario de la planta, lo cual podría tener un efecto combinado en la agricultura, puesto que se reduce su contenido de nutrientes, pero a la vez se amplía la aplicabilidad a otros cultivos y también se logra que las municipalidades y campos de golf hagan un mayor uso del efluente. Una decisión importante que se debe tomar es si se debe producir un efluente de una calidad única o de dos calidades, orientadas a usuarios diferentes.

En esta sección se describe el análisis requerido para la justificación económica de los proyectos en Blanes y Platja d’Aro. El primer análisis es breve, dado que faltan datos en ciertos puntos clave, pero el último es más completo.

<sup>5</sup> *Global Water Intelligence*, agosto de 2009, p. 14.

<sup>6</sup> OCDE, *Planificación estratégica y financiera para el suministro hídrico y saneamiento*, 2009.

<sup>7</sup> GWI “*Reuse tracker*” (sección habitual de la publicación).

#### 4.2.2. Especificación del proyecto

En **Blanes**, la propuesta consiste en reutilizar el efluente terciario proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales (actualmente 3,15 hm<sup>3</sup>/año, que se aumentará a 5,05 hm<sup>3</sup>/año) para la agricultura, lo que reemplazaría el uso de las aguas subterráneas por parte de los agricultores.

En **Platja d'Aro**, la autoridad regional del agua, ACA, prevé un aumento de la capacidad de tratamiento terciario de la planta de tratamiento de aguas residuales en un 30% a un caudal con una capacidad de diseño de 20 000 m<sup>3</sup>/día. Actualmente, solo se regenera 22% del total de agua tratada en la planta. La mejora respondería a la posible demanda de nuevos usuarios (por ejemplo, las municipalidades de Castell-Platja d'Aro y Santa Cristina d'Aro, agricultores en Llagostera, municipio vecino, y los campos de golf).

Al considerar la opción de estándares diferenciados de tratamiento de efluente para distintos usuarios, se ha decidido finalmente, en términos de costos, producir una sola calidad de efluente. El proyecto también incluye nuevas estaciones de extracción, tuberías y embalses. El costo de inversión total sería de unos 7,7 M€, 16% para aumentar el tratamiento terciario, 48% para tuberías y 33% para instalaciones de almacenamiento.

El agua regenerada adicional se asignaría entre los diferentes usos conforme a la Tabla 4.2.

#### 4.2.3. Evaluación del impacto del proyecto

##### *Blanes*

En la Tabla 4.3 se indican los principales elementos de costo y beneficio que constituirían el análisis costo-beneficio, con los datos correspondientes si se dispone de ellos. Se indican ciertos valores clave que no están disponibles para fines de este informe.

La información proporcionada en la Tabla 4.3 no permite realizar una evaluación económica de esta propuesta, pero indica dónde se deben concentrar otras búsquedas de datos. El costo de aumentar

TABLA 4.2.

**Asignación propuesta del agua regenerada adicional en el área de Platja d'Aro**

	Agua regenerada solicitada hm <sup>3</sup> /año
Agricultura (fincas adyacentes a la planta de tratamiento de aguas residuales y agricultores en Soilius y Llagostera)	1,263
Municipalidades (Platja d'Aro y Santa Cristina d'Aro)	0,288
Campos de golf y Pitch & Putt (6)	0,658
Mejora del caudal de agua en el río Ridaura para fines ecológicos	1,0
Total	3,209

TABLA 4.3

**Proyecto de Blanes: categorías de costo y beneficio (€ M)**

1	Costo de capital del tratamiento terciario	No disponible [Costo incremental de aumentar la producción terciaria de 3,15 a 5,05 hm <sup>3</sup> /año]
2	Costo de capital de tuberías, bombas, etc. para transportar efluente hacia los campos	5,05
3	Costos anuales de operaciones y mantenimiento (principalmente extracción) para el transporte del efluente hacia las fincas (0,02/m <sup>3</sup> x 5,05 hm <sup>3</sup> )	0,10
4	Ahorro de los costos de extracción de aguas subterráneas (0,11 x 5,05 hm <sup>3</sup> )	0,55
5	Ahorros en fertilización	cero
6	Pérdidas en los ingresos que se evitan en las fincas debido a la escasez de agua en los años de sequía	no cuantificado
7	Valor del agua subterránea que queda en el acuífero	desconocido

Los puntos 1 y 2 corresponden a costos únicos iniciales, los otros puntos son flujos anuales.

la capacidad existente de aguas residuales con un tratamiento terciario es desconocido, aunque el costo de la infraestructura de distribución parece importante con respecto a los beneficios conocidos para los agricultores. Se supone que los agricultores no obtendrán ningún beneficio de las propiedades de fertilización del efluente, ya que se habrá eliminado la mayoría de los nutrientes. Se beneficiarán del ahorro de los costos de extracción, los cuales son relativamente importantes (posiblemente aumenten en el futuro, debido a que las profundidades de extracción son mayores y van en aumento).

Los dos posibles beneficios clave, que junto con el aumento del costo de inversión del tratamiento determinarían en gran medida la viabilidad del proyecto, se desconocen por el momento. El efluente proporcionaría una mayor seguridad del suministro y un beneficio económico a los agricultores (por ejemplo, les permitirá plantar cultivos de mayor valor, pero que a la vez requieran una mayor seguridad del suministro de agua<sup>8</sup>). La experiencia de la finca de Mas Pijoan analizada a continuación, tiene relación con este aspecto.

Otro beneficio fundamental, el valor del agua subterránea que queda en el acuífero, depende de la política regional, ya sea de mantener el agua en la tierra o dejar que otros usuarios la exploten. En el primer caso, los valores serían ambientales; en el segundo, el valor del agua sería para futuros usuarios, cuyas identidades en este momento se desconocen.

### *Platja d'Aro*

Aumentar la capacidad de tratamiento terciario en la planta de tratamiento de aguas residuales reduciría el contenido de nutrientes de las aguas regeneradas en un 70%, lo cual disminuiría los posibles ahorros en fertilizantes de los agricultores. De este modo, los principales beneficios del proyecto para la agricultura serían los siguientes:

- i) Aumento de la producción de cultivos debido a una mayor disponibilidad de agua. El uso de agua regenerada asegurará rendimientos e ingresos por ventas por hectárea menos variables, ya que existe una menor dependencia de suministros de agua poco seguros.
- ii) Se evita el costo de extracción de aguas subterráneas.
- iii) Se sigue considerando una pequeña reducción en los costos de fertilizante.

Los beneficios para las *municipalidades* corresponderían al valor del agua adicional disponible para uso doméstico. Esto provendría de la liberación de 3,2 hm<sup>3</sup>/año de aguas subterráneas actualmente extraídas para la agricultura. No se consideran los beneficios del uso del agua en los campos de golf o para otros fines relacionados con el turismo, aunque probablemente sean positivos.

El proyecto podría beneficiar al *medio ambiente* mediante la recarga del acuífero: se estima que este beneficio correspondería al ahorro en el costo de extracción de aguas subterráneas, ya que el nivel del acuífero es menos profundo.

El balance general de los costos y beneficios se presenta en la Tabla 4.4.

Una visión global de la Tabla 4.4 nos dice que para una inversión de € 7,7 millones y un costo anual de operaciones y mantenimiento de € 0,48 millones, los agricultores existentes recibirán un ahorro poco significativo por concepto de extracción y costos de fertilizante (0.011 millones de Euros). Parte de las aguas regeneradas serían vendidas a las municipalidades y establecimientos recreacionales por 1,01€/m<sup>3</sup>. Los costos y beneficios mencionados hasta aquí son razonablemente buenos.

La reutilización del efluente aliviaría la presión sobre el acuífero de aguas subterráneas hasta 3,2 hm<sup>3</sup>/año, si se asume por lo demás que todos los usuarios presentados en la Tabla 4.2 extraen su agua desde las napas subterráneas. Esto crearía un beneficio ambiental, dado que el acuífero se está reduciendo y recibiendo intrusión marina. Si se considera como una política pública evitar la disminución del acuífero, entonces se trata exclusivamente de un beneficio ambiental que se puede evaluar

<sup>8</sup> Aunque se podrían aplicar restricciones a la producción por el uso de efluente, en comparación con las aguas subterráneas.



TABLA 4.4.

**Costos y beneficios de la mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales Platja d'Aro (millones de €)**

1	Costo en inversión de capital: <i>total</i> tratamiento terciario del efluente	7,70
	tuberías	1,20
	extracción	3,68
	almacenamiento	0,25
		2,55
2	Aumento de los costos anuales por operaciones y mantenimiento (0,05 €/m <sup>3</sup> ), extracción, transporte, etc. (0,10 €/m <sup>3</sup> )	Tratamiento: 0,16 Transporte: 0,32 Total 0,48
3	Mayores ingresos por ventas en las fincas (neto): Con una futura expansión de 41,6 a 291 ha	[0,874]
4	Ahorro en la extracción de aguas subterráneas	0,007
5	Ahorro en el costo de fertilizante	0,004
6	Valor del agua subterránea liberada para uso urbano y otros posibles usos: (3.2 hm <sup>3</sup> a 1.1 €/m <sup>3</sup> )	[3,52]
7	Ventas de efluente a las municipalidades 0,28 hm <sup>3</sup> a 1.1 €/m <sup>3</sup>	0,30
8	Ventas de efluente a campos de golf y pitch & putt: 0,65 hm <sup>3</sup> a 1,1 €/m <sup>3</sup>	0,71

según corresponda. Si no existe dicha política para estabilizar el acuífero, el agua subterránea “ahorrada” con la reutilización de las aguas regeneradas, estaría disponible para otros usuarios. Dado que este beneficio es incierto, se omite del cálculo del análisis costo-beneficio de la hipótesis de base que se presenta a continuación.

Otra característica incierta del análisis costo-beneficio surge de la posibilidad de que parte del efluente de la planta mejorada de tratamiento de aguas residuales se encuentre disponible para permitir una mayor expansión de la agricultura en el área de Llagostera, actualmente limitada por la disponibilidad de agua adecuada. Este podría ser un beneficio futuro importante (el cual, en estudios preliminares se ha estimado que alcanza a 0,874€ M/año), sin embargo actualmente es solo una especulación y también se omite en el análisis costo-beneficio de la hipótesis de base que se presenta a continuación.

**Análisis costo-beneficio: hipótesis de base**

En el caso del Llobregat, no se realizan ajustes a los valores nominales de los flujos de costos y beneficios. Para simplificar, se asume que el costo de capital total se incurre al final del año 1 y que los flujos anuales continúan en un nivel constante durante 25 años. Los resultados son los siguientes (en millones de Euros):

- i) Valor actual de los costos (1 + 2, actualizado a un 6%): 12,99
- ii) Valor actual de los beneficios (4, 5, 7, 8 a un 6%): 12,26
- iii) Valor actual neto (ii menos i) negativo 0,73
- iv) Relación beneficio-costos (ii, i) 0,94 a 1,0

El resultado de este análisis de la hipótesis de base es que existe un pequeño valor presente neto negativo cuando se calculan solo los beneficios “básicos”. Esto podría considerarse una interpretación pesimista, por varias razones:

- El valor del agua subterránea “ahorrada” se omite debido a su incertidumbre. El principal problema es la falta de capacidad del acuífero de suministrar suficiente agua. Hace varios años, Platja d'Aro y otros municipios vecinos comenzaron a abastecerse a través de la presa El Pastoral.
- No se considera el valor potencial del efluente para el desarrollo de nuevas tierras de regadío en Llagostera.
- Los beneficios para usuarios no agrícolas (como campos de golf y otros fines municipales) se consideran parcialmente.



- No se calculan los beneficios ambientales de una menor contaminación por agua de mar ni de los beneficios provenientes del caudal mejorado del río Ridaura, el cual está prácticamente seco la mayor parte del año.

Claramente, cualquiera de los dos primeros factores anteriores cambiaría el valor actual neto a un monto positivo considerable. De igual forma, si se incluye un valor ambiental relativamente pequeño en la tercera categoría, el proyecto sería económicamente justificable. El proyecto es sensible a la cantidad de ingresos por la venta de aguas regeneradas y altamente sensible a la inclusión del valor del agua subterránea guardada o liberada, y a sus beneficios para el riego, que se encuentran en proceso de desarrollo.

El análisis preliminar anterior indica que podrían realizarse mayores investigaciones enfocadas al posible uso del efluente por parte de los agricultores en el área de Llagostera, quienes tienen la llave para la viabilidad de este proyecto.

#### *Análisis costo-eficacia*

Si en el mejor de los casos el proyecto es solo marginal, el *costo evitado* del siguiente mejor (“siguiente peor”) proyecto es irrelevante, ya que no vale la pena llevarlo a cabo. Sin embargo, si se restablecieran los beneficios omitidos anteriormente, el proyecto valdría la pena. Entonces surge la pregunta: ¿habría formas más costo-eficaces de lograr sus objetivos?

Si bien no existe una revisión completa de las alternativas, se han hecho ciertas estimaciones del costo de abastecer el volumen de agua necesaria mediante desalinización y, como alternativa, transportar agua desde el río Ter a través de una nueva tubería recién construida. Se ha tomado como costo de referencia entre 0,45 y 1,00 €/m<sup>3</sup> por la desalinización del agua del mar. A modo de comparación, el costo unitario del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales de Platja d’Aro, según los valores de la Tabla 4.5, es de 0,33 €/m<sup>3</sup>,<sup>9</sup> lo cual daría una ventaja en cuanto a los costos, aunque la calidad del efluente sería diferente en ambos casos.

También se ha hecho una simple estimación del costo de traer agua dulce desde el río Ter a través de la nueva tubería. Según los costos de capital de € 27 millones y de operaciones y mantenimiento anuales de 0,54€ millones, el costo unitario de esta solución para un volumen comparable (aunque de agua dulce) sería de 0,82 €/m<sup>3</sup>,<sup>10</sup> más caro que la planta de tratamiento Platja d’Aro, pero compitiendo con la desalinización del agua del mar.

TABLA 4.5.  
Comparación entre la situación pasada y presente en la finca Mas Pijoan

	Situación en 2003	Situación en 2006	Cambio 2003-2006 (%)
Total de tierras de regadío (ha)	35	41,6	+18,9
Tierras regadas con agua regenerada (ha)	0	25	–
Tierras regadas con agua mezclada (ha)	0	7,6	–
Tierras regadas con agua de pozo (ha)	35	9	–74,3
Agua de pozo utilizada (m <sup>3</sup> /año)	175 000	71 240	–59,3
Agua regenerada utilizada (m <sup>3</sup> /año)	0	136 760	–
Rendimiento del cultivo (kg/ha)	50 000	70 000	+40

<sup>9</sup> El valor actual neto del costo de inversión inicial (€ 7,7 M) y los costos operacionales anuales (€ 0,48 M) de la nueva instalación se actualizan a 0.94 para obtener su valor presente a comienzos del año 2. Esto se divide por el volumen de agua adicional (3,2 M/año) durante 25 años, comenzando en el año 2, actualizado a un 6%. El valor actual (VAN) de 1.0 al año durante 25 años a un 6% es 12.78. Debido a que se supone que los caudales de agua y los costos no comienzan sino en el año 2, se aplica un factor de actualización de 0,94.

<sup>10</sup> Mediante el mismo proceso descrito en la nota al pie.

### *La importancia de la finca Mas Pijoan*

La cuenta del caso Mas Pijoan en el Capítulo 2 es un indicador de las ganancias que los agricultores pueden lograr al utilizar suministros fiables de efluente tratado, en comparación con la extracción de aguas subterráneas. La evolución de las operaciones en la finca entre 2003 y 2006, antes y después de utilizar el efluente, aparece en la Tabla 4.5. En resumen, la finca podía expandir su área de regadío, reducir su dependencia de las aguas subterráneas y aumentar el rendimiento de sus cultivos en un 40%. Los agricultores de las áreas vecinas a Llagostera están observando con interés los resultados, en donde el agua subterránea es extraída entre 80 a 120 metros de profundidad, mucho más que en el área de Solius, utilizada en la hipótesis de base.

### *Viabilidad financiera*

#### *i) Impacto financiero sobre las principales partes interesadas*

En Blanes, los agricultores se beneficiarían directamente con el ahorro del costo de extracción y por la mayor fiabilidad del efluente de agua regenerada, en comparación con las fuentes existentes. Por otra parte, podrían existir restricciones de producción. El impacto financiero inmediato en la municipalidad probablemente sea negativo, ya que no hay una posibilidad obvia de “intercambiar” las aguas regeneradas por derechos de agua dulce que pudieran venderse en otro lado. En la actualidad, el único sector que podría usar el agua regenerada es la agricultura y es poco probable que pueda pagar por el costo de capital total de tratamiento, distribución y extracción adicionales. Las autoridades regionales o nacionales deberían compensar cualquier beneficio ambiental. En el ejemplo de este caso, el acuífero ha sido declarado “sobreexplotado”, lo cual permitiría que las autoridades prohíban su uso en algún grado. Si bien la comercialización formal de derechos es ilegal, es posible lograr cierta negociación.

La situación en Platja d’Aro se parece a la de Blanes, pero presenta dos diferencias importantes. En primer lugar, existen posibles compradores no agrícolas del agua regenerada, los cuales, en forma de usuarios municipales y recreacionales, pueden costear parte de los costos mediante ingresos recaudados a través del cobro de tarifas. En segundo lugar, existe una demanda agrícola prometedora para el agua regenerada en Llagostera, con posibilidades de lograr un contrato con los agricultores que desarrollen nuevas tierras de regadío. Al igual que en Blanes, es difícil determinar el valor del agua que queda en el acuífero sin tener una política autorizada regional sobre esta materia.

#### *ii) Instrumentos financieros y transferencias*

En ambas áreas, existen oportunidades limitadas de intercambiar agua regenerada por derechos de agua dulce, por lo tanto la mayor parte de los costos de los proyectos se tendrían que recuperar a través de los agricultores o de los encargados de la protección del medio ambiente. El ejemplo de coste económico del efluente tratado en la planta Platja d’Aro (0,31 €/m<sup>3</sup>) es mucho mayor que el costo de extraer aguas subterráneas (0,11 €/m<sup>3</sup>) y que el precio del agua regenerada definido por el *Consorci de Costa Brava* de 0,08 €/m<sup>3</sup>. No hay una fuente actual de subvenciones cruzadas de los agricultores, incluso en Platja d’Aro, en donde, en principio, los usuarios urbanos y recreacionales podrían costear la tarifa. Estos usuarios solo responden por una pequeña parte del consumo. La opción de desarrollar mercados del agua no resulta más prometedora, ya que los agricultores solo tienen derechos sobre las aguas subterráneas, las cuales son difíciles de comercializar, tanto por motivos legales como de costos.

Existe una justificación de las subvenciones a los agricultores en razón de que pueden considerarse proveedores de servicios ambientales, como compensación por mantener el nivel del acuífero, aunque este ya no se use como una fuente de agua.

#### *iii) Financiación de los proyectos*

Los costos de la inversión inicial de estos proyectos podrían atraer subvenciones de capital y créditos blandos del gobierno regional y central, y de sistemas de la Unión Europea. En el sistema de Mas

Pijoan, 70% del costo de conectarse a las tuberías existentes fue proporcionado por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural. También sería razonable que los agricultores que participen, entreguen una contribución al costo de capital de distribuir agua regenerada a sus campos, donde el agua proveniente de otras fuentes se está volviendo escasa y poco fiable. Un cargo por agua agrícola equivalente al costo promedio de extraer aguas subterráneas ( $\sim 0,11 \text{ €/m}^3$ ) cubriría una parte menor (en Platja d'Aro, alrededor de un cuarto) de los costos recurrentes del suministro.

Las posibilidades de financiar estos proyectos a través de concesiones privadas no son prometedoras, salvo si las concesionarias son remuneradas directamente por las municipalidades a través de acuerdos de compra del efluente. La recuperación del costo por parte de los usuarios (principalmente agricultores) es poco probable, siempre que puedan extraer aguas subterráneas a un costo menor que la tarifa.

### 4.3. MÉXICO

#### 4.3.1. Ciudad de México y Valle de Tula

##### *Situación general*

Los agricultores en el Valle de Tula riegan sus campos con aguas residuales no tratadas gratuitas provenientes de Ciudad de México, complementadas con otras fuentes de agua locales. La relación entre la ciudad y el Valle de Tula es sinérgica: el acuerdo beneficia a ambas partes, ya que permite que la ciudad efectúe la evacuación aguas abajo de grandes volúmenes de aguas residuales no tratadas y los agricultores obtengan aguas cargadas de nutrientes para regar sus cultivos. Sería posible estimar los beneficios acumulados para la ciudad, que van desde la posibilidad de retrasar la inversión en tratamiento avanzado de aguas residuales, como también, los beneficios que tendrían los agricultores con el uso de aguas residuales en comparación con otras posibles fuentes de agua, de menos fertilidad. Un ejercicio de este tipo sería interesante en países y regiones que se encuentran en una etapa temprana de evaluación de estrategias para las aguas residuales, pero en el caso que estamos analizando, sería teórico, ya que las decisiones ya han sido tomadas y las alternativas para ambas partes parecen ser pocas.

Como resultado del programa actual de inversión de la ciudad en plantas de tratamiento de aguas residuales, la mayor parte de estas aguas pronto serán tratadas a un nivel terciario. En teoría, esto ampliaría la aplicabilidad del agua regenerada en otros cultivos y además reduciría cualquier riesgo a la salud pública, pero requerirá que los agricultores apliquen fertilizante para compensar la reducción del contenido de nutrientes del agua reciclada. Cálculos aproximados realizados por los autores de los estudios de casos sugieren que la productividad de las fincas aumenta un 18% con el uso de aguas residuales, en comparación con el uso de agua dulce.

La situación, como se describió anteriormente, probablemente continúe: ninguna de las partes tiene una razón poderosa para cambiarla ni tampoco los medios para hacerlo. Existen pocas posibilidades de un intercambio intersectorial (de derechos de agua dulce de los agricultores a cambio de suministro continuo de agua regenerada) como se analizó anteriormente en los casos españoles. Por ejemplo, se ha hecho una propuesta (Jiménez Cisneros, 2004a) de que la ciudad tome parte del agua del acuífero en el Valle de Tula, que ha sido recargado con aguas regeneradas y otras fuentes. Esto sería parte de un intercambio por el suministro continuo de aguas regeneradas. No obstante, existen obstáculos físicos y de otra índole para efectuar un intercambio de derechos de uso de agua entre los agricultores y la ciudad, lo cual no resulta obvio (se explica en el Capítulo 2, lo que podría limitar los intercambios de esta naturaleza, incluso si cada una de las partes deseara hacerlo).

El análisis costo-beneficio y costo-eficacia solo tiene sentido cuando los encargados de las políticas tienen opciones. En el caso Ciudad de México-Tula, estas opciones están estrictamente limitadas por la decisión de implementar el programa de inversión de la planta de tratamiento de aguas residuales, por realidades hidrológicas, por derechos de uso de los agricultores y por los derechos de los usuarios que se encuentran aguas abajo.

### 4.3.2. Ciudad de Guanajuato y La Purísima

#### *Situación general*

Este caso tiene ciertas similitudes con el anterior. Los agricultores en el sistema de regadío de La Purísima extraen agua desde un embalse alimentado por agua dulce proveniente del río y por aguas residuales tratadas de la planta de tratamiento de la ciudad, la cual está mejorando su capacidad de tratamiento secundario. Sus derechos de agua no consideran la calidad del agua.

En este caso, los agricultores ya están utilizando agua regenerada vertida al río que alimenta el embalse y mejorar el nivel de tratamiento no marcaría una gran diferencia en cuanto al volumen de agua que reciben. La principal preocupación de los agricultores sería el impacto en sus operaciones al recibir una mezcla de agua con un contenido mucho mayor de agua regenerada desde la nueva planta de tratamiento, lo cual reduciría los beneficios anteriores de fertilización. Sin embargo, los agricultores podrían recibir una compensación por la libertad que tienen de cultivar una amplia gama de cultivos. Cálculos aproximados realizados por los autores de los estudios de casos sugieren que la productividad de las fincas podría aumentar en un 10% en comparación con el uso (hipotético) de solamente agua dulce.

Al igual que en el Valle de Tula, al parecer no hay posibilidades de un intercambio de derechos de uso de agua entre los agricultores y la ciudad, por los motivos explicados en el Capítulo 2. Los agricultores parecen ser los receptores pasivos de cualquier cambio en la calidad del efluente decidido por la ciudad y, en la medida en que dependan exclusivamente del embalse, no tendrán los medios de reducir su exposición a dichos cambios.

### 4.3.3. Módulo de riego de la ciudad de Durango y Guadalupe Victoria

#### *Situación general*

Se ha considerado la posibilidad de que la ciudad de Durango adquiriera derechos sobre las aguas superficiales limpias, originalmente otorgados como una concesión a los agricultores usuarios de riego en el área de Guadalupe Victoria, adyacente a la ciudad. Esto sería a modo de intercambio por entregar agua regenerada para el uso de los agricultores.

Dicho intercambio de derechos de uso de agua tendría varios beneficios: el acuífero dejaría de ser sobreexplotado, la municipalidad obtendría agua de buena calidad a un menor costo, se ahorraría energía al reducir la extracción desde el acuífero y los usuarios del riego recibirían ciertas cargas de nutrientes biodegradables para sus cultivos.

Existe un precedente para la reutilización agrícola de las aguas regeneradas. Entre el año 2000 y 2006, los usuarios del riego tenían un acuerdo para usar aguas residuales tratadas de la ciudad a fin de complementar su suministro normal de agua del embalse. El principal motivo fue su necesidad de asegurar el suministro en los períodos de sequía. En el año 2000, se construyó una tubería con interconectores desde las lagunas aireadas de la planta de tratamiento de aguas residuales hasta el canal principal de la margen izquierda, que corre desde el embalse Guadalupe Victoria. Desde 2006, el efluente suministrado bajo este acuerdo ha disminuido, ya que la cresta del canal de desagüe del embalse ha subido, lo que ha permitido un almacenamiento adicional de 10 hm<sup>3</sup> de agua.

#### *Especificación del proyecto: los fundamentos de un posible acuerdo*

La situación tiene una simetría aritmética, lo que hace atractivo un acuerdo entre la ciudad y los agricultores: el módulo de riego completo de Guadalupe Victoria cuenta con una concesión de agua dulce superficial de 63 259 hm<sup>3</sup>/año, mientras que la ciudad de Durango tiene una asignación de agua subterránea de 61 292 hm<sup>3</sup>/año. A esta última se le atribuye prácticamente toda la recarga anual del acuífero. Un acuerdo para que toda el agua municipal sea suministrada desde el embalse y toda el agua regenerada se utilice en agricultura de regadío abarcaría prácticamente toda el agua requerida por ambas partes en un futuro próximo. Esto evitaría la sobreexplotación actual del acuífero del Valle del Guadiana.

Un acuerdo de largo plazo como este exigiría que los regantes cedieran formalmente sus derechos de agua superficial a cambio de aguas residuales urbanas tratadas. También se requerirá mayor inversión en infraestructura para hacer viable el resultado. La segunda planta de tratamiento de aguas residuales, actualmente planificada, aumentaría el volumen disponible de aguas residuales y las tuberías de interconexión existentes deberían alargarse de manera que permitan abastecer toda el área de 9 399 ha del módulo de riego Guadalupe Victoria. También se requerirá un estanque de regulación.

En el corto plazo, se podría prever un acuerdo más limitado, en el cual los agricultores renunciaran a sus derechos y obtuvieran solo 10 hm<sup>3</sup>/año de cursos de agua superficiales almacenados en el embalse Guadalupe Victoria, a cambio de recibir 10 hm<sup>3</sup>/año de aguas residuales urbanas tratadas, que se entregan al módulo de riego de Guadalupe Victoria. La ciudad mantendría un pequeño número de pozos (10 a 15) para uso industrial.

A modo de ejemplo, en la Tabla 4.6 se describe un marco costo-beneficio para el desarrollo de un acuerdo intersectorial como este. En principio, el acuerdo podría cubrir cualquier nivel de intercambio de agua, pero para fines explicativos, como hipótesis de base se toma la cantidad total de la concesión de agua dulce para regadío (63 hm<sup>3</sup>/año).

La Tabla 4.6 indica que aún no están disponibles todos los datos necesarios para generar un análisis costo-beneficio correcto. Los puntos fundamentales en cualquier decisión probablemente son:

- El valor de conservar el agua en el acuífero y evitar un mayor agotamiento de las aguas subterráneas (los autores de los estudios de casos estimaron que sería aproximadamente \$0,88/m<sup>3</sup>). Este es un beneficio ambiental principalmente, que afectará los cursos de agua y humedales locales y, por lo tanto, la flora y fauna silvestres junto con las actividades de recreación. Sin embargo, también habría ganancias para los usuarios que continuaran con la extracción del acuífero (por ej., la industria local), y el acuífero también tendría un valor monetario como almacenamiento de agua, como protección ante futuras sequías (valor del seguro).
- El ahorro de la ciudad en cuanto al costo de extracción de aguas subterráneas desde profundidades cada vez mayores. No se ha estimado, pero probablemente sea un monto considerable.

El supuesto anterior es que el acuerdo de reutilización permitiría que la ciudad satisficiera su necesidad de aguas municipales al reemplazar las aguas subterráneas por aguas superficiales provenientes del embalse. Esto es, por supuesto, una simplificación de lo que probablemente sucederá, pero si fuese válida, indica que el beneficio del acuerdo para la ciudad sería más bien un *costo evitado* en lugar de que sea un *nuevo beneficio*. El valor económico del agua vendida en la ciudad sería, *conforme a la*

TABLA 4.6.  
**Marco costo-beneficio para un acuerdo intersectorial en la ciudad de Durango**  
Valores en millones de pesos mexicanos

1	Costo de inversión del tratamiento de aguas residuales	Se asume que de cualquier forma es necesario que el costo de la planta de tratamiento de aguas residuales cumpla con la normativa ambiental nacional, por lo tanto, no debe atribuirse al proyecto de reutilización
2	Costo de inversión de la tubería de interconectores desde la planta de tratamiento de aguas residuales a las áreas de regadío	El costo de los interconectores originales (\$9,5M) es un costo irrecuperable. El costo de alargar la tubería es ~ \$1M/km
3	Diferencia neta en operaciones y mantenimiento anuales para el transporte del efluente desde las plantas de tratamiento hacia los agricultores, en comparación con el costo original que asumen los agricultores al llevar agua dulce desde el embalse a los campos	n.d. [la convención local es suponer que esto corresponde a un 2% del costo de capital del punto 2 de arriba. El costo de operaciones y mantenimiento del tratamiento no se debe atribuir a este proyecto]
4	Costo evitado de los agricultores en fertilizante	17,17
5	Ciudad de Durango: costo evitado de la extracción de aguas subterráneas	n.d.
6	Beneficios ambientales para el acuífero	n.d. [Difícil de cuantificar y depende de las políticas públicas en cuanto al uso del acuífero]
7	Costo de las restricciones de producción: pérdida neta del ingreso de la finca	n.d.

n.d. = no disponible.

*hipótesis*, el mismo que antes (aunque su valor financiero probablemente sería menor, ya que la base de los cargos tendría que ser el costo real de suministro, el cual sería menor para el agua superficial que para el agua subterránea). De este modo, la *ciudad* debe comparar el costo incremental del proyecto (alargar las tuberías con interconectores que llevan el efluente a los agricultores) con los beneficios de ahorrar en la extracción de aguas subterráneas y evitar un mayor agotamiento del acuífero.

*Los agricultores* se benefician del valor de los nutrientes del efluente, pero podrían enfrentar restricciones de producción debido al uso de aguas regeneradas en lugar de agua superficial limpia.

Ambas partes, la ciudad y los agricultores, deberían considerar el *costo-eficacia* del acuerdo en comparación con las otras formas de satisfacer sus necesidades. Si bien las alternativas detalladas no se encuentran disponibles en este informe, las opciones para la ciudad podrían incluir el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua dulce, transmisión de agua desde fuentes más distantes y gestión de la demanda, lo que incluye la reducción de pérdidas en la distribución. Las opciones de los agricultores para mejorar la seguridad de su propia agua podrían consistir en aumentar la eficiencia del agua mediante cambios en sus técnicas de regadío y el sistema para distribuir agua a sus fincas.

El impacto *financiero* en la ciudad probablemente sea positivo, a través de los ahorros de costos recurrentes para obtener agua. Para los agricultores, el beneficio parece ser más marginal y, dependiendo de sus derechos legales sobre el agua del embalse, podría existir un fundamento para compensar la pérdida de dichos derechos.

#### 4.4. PROBLEMAS QUE SURGEN DEL USO DE LA METODOLOGÍA ECONÓMICA

Los diversos materiales de los casos presentados de España y México proporcionan una buena prueba de campo para el método presentado en el Capítulo 3, y demuestran que este es un marco de análisis apropiado para los proyectos que implican la reutilización del efluente. En general, el marco presentado, que consta de un método de tres niveles: *análisis costo-beneficio*, *análisis costo-eficacia* y finalmente *viabilidad financiera*, ha demostrado ser adecuado como método para justificar los proyectos en cuestión.

El punto de vista adoptado por el analista hipotético del análisis costo-beneficio en este informe es el mismo que el de la autoridad nacional o regional del agua o ambiental. Un organismo de este tipo toma una postura en base a la GIRH (Gestión Integrada de los Recursos Hídricos) con respecto a la gestión de agua, considerando los intereses de todas las partes interesadas relacionadas. Si bien las dos partes más destacadas de este informe son las municipalidades y los agricultores, existe una tercera parte importante en la mesa: el medio ambiente, el cual necesita un defensor y un encargado de su protección. Reflejar las necesidades del medio ambiente, evaluar sus activos y servicios y asegurar que se cumplan sus necesidades financieras es un desafío para los analistas en esta área. Los estudios de casos confirman que la utilización de las aguas regeneradas es un ámbito propicio para la aplicación y ajuste de las herramientas del análisis costo-beneficio medioambiental.

El material de los casos demuestra que ciertos elementos de costos y beneficios son más sólidos que otros. Desde el punto de vista de los costos, los costos de capital de las unidades de tratamiento, bombas y canales se pueden calcular con cierta confianza y sus costos operativos (extracción, productos químicos, mano de obra, etc.) también son bastante evidentes. La tecnología de tratamiento de aguas residuales (incluida la desalinización) se encuentra, sin embargo, en proceso de desarrollo y es difícil establecer supuestos claros sobre los costos unitarios futuros. Por otro lado, en cuanto a los beneficios, la mayoría de los estudios de casos se basan en los beneficios percibidos para los agricultores, debido a los nutrientes del efluente, ahorros en la extracción de aguas subterráneas y una mayor fiabilidad del efluente en comparación con otras fuentes en climas áridos. Si bien los costos de extracción son razonablemente sólidos, los beneficios de la fertilización dependen de la evidencia empírica local ("con y sin proyecto"), lo cual es incompleto y deberá reforzarse, por ejemplo, a través de pruebas agronómicas. Los beneficios de la fiabilidad también se deben demostrar de forma más convincente, posiblemente mediante un estudio más a fondo del comportamiento de respuesta de los agricultores (seguro, acciones aversivas, etc.).



Desde el punto de vista de demanda de agua urbana, los estudios de casos reflejan la visión generalizada de que las tarifas del suministro de agua son demasiado bajas, por lo tanto, persiste una subestimación de los beneficios creados mediante el desarrollo de nuevas soluciones para satisfacer la creciente demanda (por ej., Llobregat). Sin embargo, algunos de los casos (por ej., Durango) muestran la importancia (se enfatiza en el Capítulo 3) de distinguir realmente los nuevos beneficios de los costos que se evitan al satisfacer la demanda existente de una forma diferente.

En varios casos se habían omitido datos o se encontraban incompletos y no era viable un análisis costo-beneficio completo. En estos y en todos los demás casos, sin embargo, el uso del análisis de sensibilidad (incluido el cálculo del *valor de aceptabilidad*) es una buena guía para el método de “valor de la información”, donde el escaso tiempo dedicado a la investigación debería centrarse en casos en los que los datos no eran sólidos. A continuación se presenta una lista de otros temas en que hubo problemas de información:

- Normalmente se utilizaron precios de mercado, sin un ajuste que reflejara los valores de escasez económica o los pagos por transferencia;
- Calibración del posible riesgo para la salud pública de usar efluente, e información sobre el impacto de las restricciones de producción;
- El impacto aguas abajo (en otros usuarios, el medio ambiente, etc.) del reciclaje de agua;
- La tasa de actualización adecuada para proyectos de esta naturaleza (justificación de la tasa empleada, normalmente un 6%);
- La dificultad en algunos casos de llevar a cabo un análisis costo-eficacia debido a la amplia gama de opciones alternativas disponibles y la necesidad de ubicar al proyecto en el contexto de estrategias regionales (por ej., la del gobierno regional de Cataluña);
- Los impactos ambientales, que son difíciles de evaluar en cualquier momento, dependen fundamentalmente de las políticas y normativa del gobierno. El valor de restablecer los niveles de aguas subterráneas es un problema recurrente en los estudios de casos, otro es el impacto de una mayor calidad del efluente en las masas de agua receptoras. En aquellos lugares en que se aplica la normativa oficial sobre estas materias, es más adecuado un método de análisis costo-eficacia para tomar las decisiones del proyecto. Ninguno de los estudios de caso incluyó especies protegidas, lo cual es un tema complejo en diversos proyectos de recursos hídricos, en muchos lugares. En varios estudios de casos, el resultado depende de cómo se evalúen los impactos ambientales, lo cual enfatiza la importancia de desarrollar metodologías y experiencia en esta área<sup>11</sup>.

#### 4.5. REPERCUSIONES DE LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS DE CASOS EN LAS POLÍTICAS

Existen varias formas de ver el objetivo de los proyectos de reutilización del efluente:

- *como un medio viable y costo-eficaz de satisfacer las crecientes demandas de agua que tiene la agricultura en regiones donde aumenta la escasez de agua y la competencia por uso*. Este motivo también se aplica en situaciones donde la demanda no necesariamente aumenta, pero donde la escasez periódica de agua es un problema para los agricultores en cuanto a sus planes de cultivos anuales. Los estudios de caso incluyen pruebas (*preferencias manifestadas*) de agricultores que responden positivamente al uso de aguas regeneradas en estas situaciones, como recurso temporal o solución a largo plazo. Sin embargo, la reutilización del agua regenerada es una entre muchas opciones a nivel de las fincas para reducir al mínimo la exposición a los riesgos hídricos. Además, no siempre se justifica la creación de instalaciones de distribución y almacenamiento de alto costo, con un alto costo recurrente, a fin de proveer agua a las fincas a un valor bajo, a menos que existan beneficios para otros sectores (ver a continuación).
- *como una solución ambiental para el creciente volumen de efluente de aguas residuales y su potencial de contaminación aguas abajo*. El caso de Ciudad de México-Tula es el ejemplo más claro del

<sup>11</sup> FAO et al. (2004), Hermans et al. (2006)



beneficio mutuo para la ciudad y los agricultores de eliminar las aguas residuales urbanas y destinarlos a la agricultura, y permitir que los procesos naturales lleven a cabo parte de la purificación *en ruta*. Los sistemas de reutilización permiten la dispersión del agua regenerada y su asimilación a lo largo de un área amplia, si se compara con la *contaminación de la fuente puntual* de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La reutilización de los nutrientes del agua regenerada en la producción de cultivos, en lugar de su eliminación y efectiva destrucción durante procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales, también resulta muy atractivo para muchos medioambientalistas. Los estudios de casos confirman estos beneficios ambientales de utilizar agua regenerada.

- *como un proyecto “en que todos ganan” que es una solución para la demanda de aguas urbanas, y al mismo tiempo que se entregan los beneficios agrícolas y ambientales mencionados arriba.* La ciudad de Durango y el Llobregat son ejemplos claros de posibles propuestas en que todos ganan, ya que en ambos casos, es física y geográficamente viable para los agricultores intercambiar sus derechos actuales de agua dulce por agua regenerada y para las ciudades acceder a los derechos de agua dulce “liberados”. (El hecho de que esto suceda realmente o no depende de que se superen barreras legales y de otra índole, como asimismo de la negociación exitosa sobre los acuerdos financieros entre las partes. No se debe suponer que los agricultores cederán fácilmente sus derechos. Como una observación general de los casos, se supone que el consentimiento de los agricultores se da de muy buena manera, sin considerar mayormente sus situaciones operativas. La mayoría de los agricultores prefieren tener varias fuentes de agua a modo de seguro.)

Gran parte de este informe, y todos los estudios de casos, tienen relación con generar resultados “en que todos ganan” similares al del tercer tipo indicado anteriormente. En dos de los casos (Ciudad de México-Tula y Guanajuato), la posibilidad de obtener un resultado en que todos ganan no es completamente obvia, ya que los elementos fundamentales de la viabilidad están ausentes o aún no se determinan. En otros casos (Blanes, Platja d’Aro), los derechos de agua dulce “liberados” por los agricultores provienen de aguas subterráneas, lo cual podría ser una fuente potencial de agua urbana, o bien podría mantenerse en el acuífero por motivos ambientales. La base de un intercambio en que todos ganan en dichas situaciones es poco convincente.

Sobra mencionar que un resultado “en que todos ganan” solo se da cuando los agricultores realmente renuncian a sus derechos de agua dulce en favor de los usuarios urbanos. En la actualidad esto solamente sucede en una minoría de casos (Cuadro 4.2).

Un método de análisis costo-beneficio ayuda a establecer los parámetros para los acuerdos entre las principales partes interesadas, las que para efectos de este proyecto se supone son los agricultores, las ciudades y el medio ambiente. Ayuda a definir el interés de las partes de manifestarse en pro o en contra de acuerdos que cambian el *status quo*. En los casos en que la relación de los costos y beneficios no está muy clara para una parte (por ej., los agricultores), la existencia de un gran potencial de beneficio neto para otra parte interesada (por ej., la ciudad o el medio ambiente) puede permitir un acuerdo, si se indica la compensación económica o financiera disponible para que el trato sea justo.

#### CUADRO 4.2 Cita de Global Water Intelligence

“Hasta el momento, la reutilización del agua principalmente se utiliza en aplicaciones de bajo valor, como riego agrícola, casi sin ningún límite sobre la demanda. Alrededor de un tercio de toda el agua reciclada se regala sin costo alguno, y dos tercios se venden a un precio extremadamente bajo, lo cual significa que, aunque la inversión en las instalaciones sea relativamente alta, la compensación es mínima. Debiera haber algo más que una inquietud ambiental para motivar los proyectos de reutilización. El agua reciclada no logra ofrecer el tan necesario alivio a las presiones que existen sobre el suministro potable urbano”.

## Capítulo 5

# Un marco de planificación para la utilización de aguas regeneradas

*El marco económico para la utilización de aguas regeneradas presentado en los Capítulos 3 y 4 debe ser parte de un marco de planificación integral. Un método de planificación sólido y sistemático ayudará a la identificación de todos los factores pertinentes necesarios para tomar la decisión de continuar con un proyecto. Este capítulo final presenta un marco de planificación de este tipo, que se relaciona con los problemas principales presentados en el Capítulo 1 y los inserta en un método integral, que incorpora la metodología económica y financiera expuesta en este informe.*

### 5.1. PROCESO DE PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

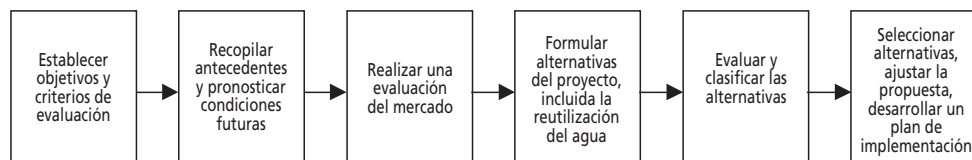
En la Fig. 5.1 se describen las etapas propias de la planificación de un proyecto. El proceso puede ser iterativo. Inicialmente, se puede efectuar una planificación a nivel de reconocimiento para analizar los conceptos del proyecto en base a datos limitados. Si este análisis preliminar es favorable, las etapas de planificación podrían repetirse con la recopilación de datos más detallados, definición de las alternativas del proyecto y análisis de cada una de las alternativas.

Los supuestos, datos y análisis se deben documentar en un *informe de planificación de las instalaciones* a fin de que puedan ser revisados públicamente y para que los responsables de la toma de decisiones decidan si continuar o no con la implementación del proyecto. En la Tabla 5.1 aparece una descripción sugerida de un informe de este tipo. Esta

**CUADRO 5.1**  
**El marco de planificación**

Proceso de planificación del proyecto	5.1
Identificación del problema y objetivos del proyect	5.2
Definición del área de estudio y antecedentes	5.3
Evaluación y garantías de mercado	5.4
Identificación de las alternativas del proyecto	5.5
Evaluación y clasificación de las alternativas del proyecto	5.6
Implementación	5.7
Temas técnicos específicos:	5.8
• Instalaciones e infraestructura	
• Equilibrio entre la oferta y la demanda	
• Calidad de las aguas residuales	
• Riesgos para la salud pública y medidas preventivas	
• Problemas en la finca	

**FIGURA 5.1**  
**Proceso de planificación del proyecto**



Fuente: Adaptado de Mills y Asano (1998).

descripción también puede servir como lista de verificación de los temas que se evaluarán durante la planificación.

La interrelación del suministro de agua, gestión de las aguas residuales y protección del medio ambiente otorgan una mayor importancia a la Planificación de recursos integrados del agua. La regeneración y reutilización de las aguas residuales son un puente entre el suministro de agua y la gestión de aguas residuales y pueden abordar un grupo más amplio de objetivos de lo habitual, que en el caso de los proyectos con un solo objetivo. Idealmente, en un proyecto de utilización de aguas residuales, la planificación regional, que incluye un amplio espectro de objetivos para el suministro de agua y calidad del agua, debería efectuarse previamente a la planificación detallada de un proyecto. Cuando dicha planificación principal no se ha llevado a cabo, será más importante abordar el contexto más amplio de suministro de agua y gestión de aguas residuales en un plan de instalaciones para la reutilización.

La implementación exitosa de un proyecto depende de su aceptación por el público general y el organismo pertinente de la administración pública. Utilizar agua regenerada como una fuente de agua aumenta las preocupaciones con respecto a la salud pública, disponibilidad del agua y costos. Los agricultores tienen inquietudes en relación con sus derechos de agua, la disponibilidad y calidad del agua regenerada, sus efectos sobre los suelos y cultivos y su impacto en las operaciones e ingresos de las fincas. La reutilización del agua a menudo traspasa los límites jurisdiccionales de varios organismos responsables de la reglamentación, operación y financiación. De este modo, la participación del público y de las partes interesadas debe ser parte de la planificación y de la toma de decisiones (Asano *et al.*, 2007; Wegner-Gwidt, 1998).

TABLA 5.1.

**Descripción de un plan de regeneración de aguas residuales e instalaciones de reutilización**

1	Características del área de estudio: geografía, geología, clima, aguas subterráneas, aguas superficiales, uso del suelo y crecimiento de la población.
2	Características e instalaciones del suministro de agua: jurisdicciones de organismos, fuentes y calidades del suministro, descripción de las principales instalaciones y capacidades existentes, tendencias en el uso del agua, necesidades futuras de instalaciones, gestión y problemas del agua subterránea, costos presentes y futuros del agua dulce, subvenciones y precios para el cliente.
3	Características e instalaciones para las aguas residuales: jurisdicciones de organismos, descripción de las principales instalaciones, cantidad y calidad del efluente tratado, caudal estacional, por hora y variaciones de la calidad, necesidades futuras de instalaciones, necesidad de controlar a nivel de la fuente los componentes que afectan la reutilización y descripción de la reutilización existente (usuarios, cantidades, acuerdos contractuales y de precios).
4	Requisitos de tratamiento para la descarga y reutilización, y otras restricciones: requisitos relacionados con la salud y con la calidad del agua, requisitos de calidad del agua específicos según el usuario y controles del área de uso.
5	Evaluación del mercado de agua regenerada: descripción de los procedimientos de análisis de mercado, inventario de posibles usuarios de agua regenerada y resultados de encuestas a los usuarios.
6	<p>Análisis de alternativas del proyecto: supuestos de planificación y diseño; evaluación de toda la gama de alternativas para obtener el suministro de agua, control de la contaminación, u otros objetivos del proyecto; selección preliminar de las alternativas según los criterios de viabilidad; selección de alternativas limitadas para una revisión más detallada, incluida una o más alternativas de regeneración y al menos una alternativa de base que no implique regeneración para realizar una comparación; para cada alternativa, presentación de los costos de inversión y de operación y mantenimiento, viabilidad del diseño, análisis económicos, análisis financieros, análisis de la energía, calidad del agua, aceptación pública y del mercado, derechos de agua, efectos ambientales y sociales, además de la comparación de alternativas y selección, incluida la consideración de las siguientes alternativas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. alternativas de regeneración del agua: niveles de tratamiento, procesos de tratamiento, alternativas de enrutamiento de tuberías, mercados alternativos según diferentes niveles de tratamiento y áreas de servicio, alternativas de almacenamiento</li> <li>b. alternativas de suministro de agua dulce u otros para el agua regenerada.</li> <li>c. alternativas de control de la contaminación del agua para la regeneración del agua.</li> <li>d. sin alternativa de proyecto.</li> </ul>
7	Plan recomendado: descripción de las instalaciones propuestas, criterios de diseño preliminares, costo proyectado, lista de posibles usuarios y compromisos, cantidad y variación de la demanda de agua regenerada en relación con el suministro, fiabilidad del suministro y necesidad de un suministro de agua complementario o de respaldo, plan de implementación y plan operacional.
8	Programa de ingresos y plan de financiación de la construcción: origen y plazos de los fondos para el diseño y la construcción; política de precios del agua regenerada; asignación de costes entre los beneficios del suministro de agua y el objetivo de control de contaminación; proyección del uso futuro del agua regenerada, precios del agua dulce, costes del proyecto de regeneración, costes unitarios, precios unitarios, ingresos totales, subvenciones, costes irrecuperables y endeudamiento y análisis de sensibilidad frente a un cambio en las condiciones.

Fuente: Adaptado de Mills y Asano (1998).

Las partes interesadas que deben participar incluyen:

- Usuarios finales de agua regenerada, como los agricultores
- Organismos de suministro de agua
- Organismos de tratamiento y gestión de aguas residuales municipales
- Vecinos y transeúntes
- Autoridades regionales del agua y de aguas residuales
- Clientes o consumidores de productos agrícolas
- Asociaciones locales
- Organizaciones ambientales
- Autoridades competentes de calidad del agua y salud pública
- Autoridades de desarrollo económico
- Organizaciones que entreguen un posible apoyo financiero
- Industrias agroalimentarias
- Otras personas afectadas directa o indirectamente por el uso de agua regenerada.

Una decisión importante que se debe tomar al comienzo de la planificación es el horizonte de tiempo apropiado para el período de planificación. Existen cuatro horizontes de tiempo que se deben considerar en la planificación y el diseño de los proyectos:

1. *Período de planificación* es el período total para el cual se evaluará la necesidad de la planta y se evaluarán las alternativas para su costo-eficacia e implementación a largo plazo.
2. *Período de diseño* es el período durante el cual se espera que un componente de las instalaciones alcance su uso a total capacidad.
3. *Vida útil* es el período estimado durante el cual una planta o componente de una planta funcionará antes de su reemplazo o abandono.
4. *Período de financiación* es el período durante el cual se deben revisar y saldar las deudas y cuando se logra el retorno de la inversión requerido.

Estos cuatro períodos de tiempo se deben mantener bien diferenciados y aplicar adecuadamente en los diversos análisis de la planificación (Mills y Asano, 1998).

Muchos de los componentes de los proyectos de suministro y reutilización de agua tienen vidas útiles de 50 años o más. Algunos de los principales desarrollos hídricos, como las presas, pueden tener la capacidad de satisfacer la demanda durante muchos años en el futuro. Para documentar todos los costos y beneficios futuros de un proyecto, es posible que sea necesario establecer un período extenso de planificación, como por ejemplo, 50 años. Sin embargo, es difícil predecir condiciones económicas y tendencias de crecimiento a futuro.

La mayor parte de los proyectos hídricos, de aguas residuales y de reutilización de agua se pueden planificar adecuadamente con un horizonte de tiempo de 20 años. El análisis económico puede contemplar instalaciones con vida útil mayor o menor a 20 años (ver el Capítulo 3). Además, debido a la incertidumbre de predecir el futuro, con frecuencia no es conveniente construir instalaciones con capacidades para satisfacer un período de demanda superior a 20 años. Con frecuencia, el método más costo-eficaz consiste en establecer fases en la construcción a fin de cumplir las capacidades futuras en incrementos más pequeños. Un período de planificación de 20 años puede contar con un marco o plan principal a largo plazo para anticipar tendencias y necesidades de largo plazo y, a la vez, analizar la construcción por etapas de la forma más costo-eficaz.

## 5.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los planificadores deben tener claridad en relación con los problemas que se deben resolver y qué objetivos se esperan lograr. La reutilización del agua no es normalmente un objetivo en sí, sino más bien es un medio hacia un objetivo social más amplio y fundamental, como:

- Suministro de agua fiable
- Protección de la salud pública

- Protección y restauración ambiental
- Desarrollo económico regional o sectorial
- Finalmente, en muchos países en vías de desarrollo, el uso de aguas residuales tratadas o no tratadas en la agricultura es crucial para asegurar el suministro alimentario (OMS-FAO, 2006).

La planificación de múltiples objetivos en un contexto de planificación integrada de los recursos hídricos puede permitir una mejor comprensión de las relaciones entre fuentes de agua, demandas, agua regenerada y necesidades de desarrollo agrícola. Si esto se tiene claro, es más fácil formular proyectos de reutilización de agua con un grupo más amplio de beneficiarios y, de este modo, obtener mayor apoyo público.

La fiabilidad puede ser un problema clave en el sentido de que el suministro sea insuficiente para satisfacer las demandas existentes o evitar futuros déficit. Esto puede ser un problema específicamente grave para la agricultura, debido al uso compartido de las fuentes hídricas, se debe considerar la oferta y la demanda de agua en todos los sectores de una región. La agricultura puede tener suministros de agua adecuados, pero al utilizar agua regenerada puede ser posible cambiar el uso actual del agua dulce de un área a otra, dentro de una región o desde el sector agrícola al sector urbano. Este intercambio podría generar un uso más óptimo en una región de todos los recursos hídricos para satisfacer las demandas actuales y futuras.

La reutilización del agua puede ser un medio de mejorar la salud pública, con el riesgo de contar con aguas residuales municipales o domésticas tratadas incorrectamente o eliminadas de manera inadecuada. La reutilización puede impulsar un mejoramiento del tratamiento de aguas residuales, lo cual beneficiaría la salud de los trabajadores agrícolas y de los consumidores de productos agrícolas que actualmente se cultivan con aguas residuales no tratadas o tratadas parcialmente. Sin embargo, el uso de agua regenerada introduce un tema de salud pública que es necesario considerar.

Descargar aguas residuales tratadas inadecuadamente puede causar daños ambientales a los recursos hídricos. En cambio, la reutilización de agua puede ser un medio de reducir las descargas de aguas residuales. El agua regenerada también ha sido utilizada para restablecer humedales o cursos de agua mediante la recarga de caudales que han desaparecido, debido al desarrollo o para abastecer humedales recientemente construidos, con el fin de recuperar humedales perdidos en desarrollos urbanos y comerciales.

En áreas con problemas económicos, el agua regenerada puede ser una fuente de agua para potenciar el crecimiento económico en una región o aumentar el ingreso de los agricultores. Un suministro de agua sostenible puede permitir que los agricultores se encuentren menos vulnerables a las condiciones climáticas o que cambien a cultivos más rentables.

Los objetivos fundamentales antes descritos se deben considerar como objetivos principales. También es importante identificar objetivos secundarios al establecer los criterios para evaluar las alternativas del proyecto. Algunos ejemplos de objetivos secundarios podrían ser:

- La sostenibilidad, como por ejemplo, evitar la sodicidad del suelo;
- La protección de la salud pública, como evitar impactos negativos en la salud por el uso de agua regenerada;
- Productividad de los cultivos, como mantener una adecuada calidad del agua de riego.

Se debe tener cuidado de no permitir que los objetivos secundarios desvíen la atención del objetivo final que consiste en resolver las necesidades sociales fundamentales.

### 5.3. DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ANTECEDENTES

Una tarea de planificación inicial es establecer el alcance geográfico del análisis. El área de estudio por tanto se debe caracterizar para la línea de base (existente) y las condiciones futuras. Esta información pasa a ser el marco fáctico dentro del cual se formulan las alternativas del proyecto, la envergadura de las instalaciones y los costos y beneficios del proyecto.

El área de estudio debe ser lo suficientemente amplia para permitir incluir fuentes de agua, demandas y necesidades de gestión de aguas residuales que podrían verse afectadas por un proyecto de reutilización del agua. En algunos casos donde el agua se importa desde fuera de la región, el análisis deberá abordar la interrelación entre estas fuentes y la región. El área de estudio también debe incluir todas las oportunidades de reutilización de agua posibles dentro de un área geográfica razonable, cercana a las fuentes de aguas residuales. En aquellos lugares donde los recursos de agua se comparten entre áreas o sectores de uso, el área de estudio debe incluir un análisis de las fuentes de agua y las necesidades de todas las áreas compartidas para identificar las oportunidades de cambiar fuentes de agua de un área a otra, o de un sector a otro, mediante la utilización de agua regenerada en reemplazo del agua dulce.

Para obtener los antecedentes, se deben proporcionar las características generales del área de estudio, junto con una descripción de los recursos de agua, gestión de aguas residuales e instalaciones relacionadas. Este es un ejercicio de recopilación de datos e información que sirven de base para el resto de los análisis. En la Tabla 5.2 aparecen los tipos de información que generalmente se deben documentar.

TABLA 5.2  
Características del área de estudio e información de referencia

Categoría	Información requerida
Datos demográficos	Población actual y futura durante el período de planificación Uso actual del suelo y cambios futuros
Condiciones económicas	Principales fuentes de empleo Principales sectores que apoyan a la comunidad o la economía regional Niveles de ingresos en sectores económicos
Clima y tierras	Precipitaciones, variación estacional Frecuencia y duración de las sequías Temperatura, variación estacional Características del suelo
Fuentes de agua	Fuentes de agua superficiales, existentes y potenciales Fuentes de aguas subterráneas, existentes y potenciales, condiciones de sobreexplotación Daño ambiental debido a la extracción excesiva de aguas superficiales
Suministro de agua	Demandas actuales y futuras de agua por sector y áreas dentro de la región Fuentes de agua actualmente desarrolladas que satisfacen las demandas actuales de cada sector de uso Descripción de la infraestructura existente de los suministros desarrollados, transporte de agua, tratamiento y distribución a los consumidores Capacidades de las instalaciones existentes y año estimado en que el uso alcanzará dichas capacidades Proyección de las brechas futuras entre las ofertas existentes o las capacidades y las demandas futuras Calidad existente de diversas fuentes
Aguas residuales	Cantidad de agua residual existente y proyectada generada y recolectada en áreas urbanas Extensión actual de las áreas de alcantarillado y tendencias futuras Descripción de las instalaciones existentes de recolección, tratamiento y eliminación de aguas residuales Capacidades de las instalaciones existentes y año estimado en que el uso real alcanzará dichas capacidades Problemas existentes o anticipados de contaminación del agua o de salud pública relacionados con la gestión de las aguas residuales o instalaciones inadecuadas Calidad existente de las aguas residuales, variación estacional o diaria
Instituciones	Identificación de las instituciones de gobierno y del sector privado pertinentes (agua, aguas residuales, agricultura, financiación) Autoridades reguladoras de la salud pública y calidad del agua Funciones y responsabilidades de las instituciones Demarcación de los límites de los organismos
Reutilización del agua	Descripción y cantidades de uso existente de aguas residuales no tratadas o tratadas Cantidad y calidad potencial del agua regenerada para su reutilización en el futuro Evaluación del mercado del agua regenerada (ver la Sec. 5.4)
Financiación	Fuentes actuales de ingresos en los sectores de agua y aguas residuales Precios actuales y proyectados del agua dulce Potenciales fuentes de apoyo financiero para costos de inversión y de operaciones
Restricciones reglamentarias	Mandatos para corregir las violaciones existentes de las leyes y reglamentaciones de salud pública y calidad del agua debido a la extracción de agua o la eliminación de aguas residuales Calidad del agua y requisitos de tratamiento de aguas residuales para reutilizar aguas residuales

#### 5.4. EVALUACIÓN DEL MERCADO Y SEGUROS DEL MERCADO

Un criterio particularmente importante para la evaluación de los proyectos de reutilización de agua es la capacidad y la disposición de los usuarios de captar agua regenerada en las cantidades calculadas, y los precios o costos que los usuarios tendrán. Al comienzo del proceso de planificación se debe realizar una evaluación del mercado a fin de determinar los potenciales usuarios de agua regenerada y las condiciones que se deben cumplir para lograr la aceptación del usuario. Cuando se toma la decisión de continuar con la implementación de un proyecto, es posible que se necesite recurrir a una garantía de mercado para asegurar que los usuarios participen en el proyecto una vez que este se cree.

##### Evaluación del mercado

Una vez recopilados los antecedentes del área de estudio, se debe determinar una posible área geográfica para la entrega de agua regenerada. Dentro de esta área, se debe realizar una completa evaluación de todos los posibles tipos y áreas de uso para el agua regenerada. Esta es la *evaluación de mercado*. Incluso si la motivación inicial de un estudio consiste en buscar fuentes de agua para el sector agrícola, no se debe ignorar el potencial de uso del agua regenerada en sectores urbanos e industriales. Luego de un completo análisis, es posible que el mejor uso del agua regenerada y el más económico se dé en el sector urbano, lo cual deja más agua dulce para el sector agrícola. También se deben considerar otras opciones, como la desalinización del agua de mar o transferencia de agua entre regiones.

Existen dos aspectos para la evaluación del mercado: 1) recopilación de datos y antecedentes relacionados con los usos genéricos y fuentes de agua y 2) recopilación de datos e información sobre usuarios o clientes potenciales específicos de agua regenerada. En la Tabla 5.3 se presentan los tipos de antecedentes que son necesarios, en orden cronológico aproximado. Según se muestra en la Tabla 5.4, conforme a esta información, los usuarios individuales, incluidos agricultores o sus representantes, pueden ser entrevistados para determinar sus fuentes existentes, prácticas agrícolas, costos de agua, necesidades y expectativas.

TABLA 5.3

##### Pasos en la recopilación de antecedentes para una evaluación del mercado de agua regenerada

Paso	Descripción
1	Crear un inventario de posibles usuarios en el área de estudio y ubicarlos en un mapa. Agrupar a los usuarios por tipo de uso. La cooperación de los organismos de aguas minoristas puede ser de gran ayuda en esta tarea.
2	Determinar los requisitos relacionados con la salud pública mediante la consulta a organismos pertinentes. Dichos requisitos determinarán los niveles de tratamiento para los diversos tipos de uso y los requisitos de aplicación que se aplicarán en los lugares de uso, por ejemplo, dispositivos de prevención de flujo de retorno para proteger el suministro de agua, métodos de riego aceptables, controles de áreas de uso para evitar el estancamiento o escorrentía de las aguas regeneradas, medidas de protección de los trabajadores o de las personas que tienen contacto con el agua.
3	Determinar los requisitos reglamentarios de calidad del agua para evitar molestias o problemas, como restricciones para proteger la calidad del agua subterránea.
4	Determinar las necesidades de calidad de agua de diversos tipos de uso, por ej. enfriamiento industrial o riego de diversos cultivos. Consejeros agrícolas del gobierno o expertos en agricultura familiarizados con el área local podrían ser de gran utilidad en este aspecto.
5	Identificar los organismos de agua mayoristas y minoristas que abastecen el área en estudio. Recopilar datos de ellos con respecto a los precios (tarifas) actuales y proyectados del suministro de agua dulce que se podrían aplicar a los usuarios de aguas regeneradas. Además, recopilar datos sobre la calidad del agua dulce que se entrega.
6	Identificar las fuentes de agua regenerada y estimar la calidad probable de esta después de ser tratada según el nivel o niveles en evaluación. Determinar qué tipos de usos se permitirían según los diversos niveles de tratamiento, conforme a los requisitos de salud pública y requisitos adecuados a diversos usos, como industriales o agrícolas.
7	Realizar una encuesta de los posibles usuarios de agua regenerada identificados para obtener datos detallados y más precisos, a fin de evaluar la capacidad de cada usuario y la disposición a usar agua regenerada. En la Tabla 5.4 aparecen los tipos de datos que se deben recopilar sobre cada usuario. Si bien la mayoría de estos datos se debe obtener directamente del usuario, parte de estos podría calcularse en base a los antecedentes obtenidos de otras fuentes.
8	Informar a los posibles usuarios de las restricciones reglamentarias aplicables, probable calidad del agua regenerada en diversos niveles de tratamiento en comparación con fuentes de agua dulce, fiabilidad del suministro de agua regenerada, agua regenerada proyectada y tarifas del agua dulce. Determinar de manera preliminar la disposición del posible usuario de aceptar el agua regenerada.

Fuente: Adaptado de Asano et al. (2007).



TABLA 5.4.  
**Información requerida para un estudio de mercado de agua regenerada acerca de los posibles usuarios**

Punto	Descripción
1	Posibles usos específicos, incluidos los tipos de cultivos regados, de agua regenerada
2	Ubicación del usuario
3	Necesidades históricas recientes y futuras de cantidad (debido a las fluctuaciones en las demandas de agua, al menos se deben recopilar tres años de datos respecto del uso)
4	Momento de las necesidades (variaciones estacionales, diarias y por hora de la demanda de agua)
5	Necesidades de calidad de agua
6	Métodos de riego y sus necesidades de presión de agua
7	Necesidad de fiabilidad: la disponibilidad y la calidad del agua regenerada y la susceptibilidad del usuario a interrupciones en el suministro de agua o fluctuaciones en la calidad del agua
8	Necesidades del usuario con respecto a la eliminación del agua regenerada residual después de su uso
9	Identificación de las instalaciones de tratamiento o de reacondicionamiento de tuberías necesarias para aceptar el agua regenerada
10	Inversión interna de inversión y posibles costos de operación y mantenimiento de las instalaciones en terreno, necesarios para aceptar el agua regenerada
11	Ahorros monetarios requeridos por los usuarios en cuanto al agua regenerada que les permita recuperar los costos en terreno o el período de amortización deseado y la tasa de retorno de las inversiones en terreno
12	Fuente de agua actual, minorista de agua actual si se compra el agua, costo actual de la fuente de agua
13	Fecha en la que el usuario estaría preparado para comenzar a usar el agua regenerada
14	Tendencias de uso futuro del suelo que podrían eliminar el uso de agua regenerada, como conversión de tierras agrícolas para el desarrollo urbano
15	En posibles lugares aún no desarrollados a futuro, el año en el cual se espera que comience la demanda de agua, estado actual y programa de desarrollo
16	Luego de informar al usuario de las posibles condiciones del proyecto, una indicación preliminar de la disposición del usuario a aceptar el agua regenerada

Fuente: Adaptado de Mills y Asano (1998).

Finalmente, un proyecto de reutilización de agua no tendrá éxito sin el apoyo de los usuarios reales y potenciales de agua regenerada. Los agricultores compararán las prácticas agrícolas de uso de agua regenerada con las prácticas actuales, para evaluar si es adecuada para los cultivos, producción, determinar sus costos y los posibles problemas de comerciabilidad de los cultivos, debido a la percepción de las personas o de los distribuidores de productos agrícolas (OMS, 2006). La evaluación del mercado debe identificar todas las inquietudes posibles de los agricultores, de modo que se puedan resolver en la etapa de planificación. Dado que los distribuidores mayoristas intermedios de productos agrícolas pueden desempeñar un papel clave para determinar si los cultivos que se cultivan con agua regenerada se pueden comercializar o no, en la evaluación del mercado también se debe incluir a los distribuidores para determinar sus inquietudes y actitudes.

### Garantías del mercado

Los usuarios de agua son más reacios a usar agua regenerada que el agua dulce, por muchas razones, algunas de las cuales aparecen en la Tabla 5.5. Incluso los posibles usuarios que durante una entrevista de evaluación del mercado manifiestan una actitud favorable con respecto al agua regenerada, posteriormente rehúsan utilizar agua regenerada cuando ya se transforma en una realidad. Con frecuencia es conveniente obtener un tipo de acuerdo o contrato legal para asegurar que los agricultores u otros usuarios realmente vayan a utilizar el agua regenerada una vez finalizado el proyecto. El éxito de dichos contratos depende de los incentivos económicos incluidos para los agricultores (ej., un aumento esperado en los ingresos). Un contrato de esta naturaleza debe incluir todas las condiciones pertinentes, técnicas y financieras, de los servicios que se proporcionarán, a fin de asegurar la transparencia y la plena comprensión de los términos del acuerdo. Algunos gobiernos o proveedores de agua tienen la autoridad legal para exigir el uso de agua regenerada (Asano *et al.*, 2007).

TABLA 5.5.  
Posibles inquietudes de los agricultores con respecto al agua regenerada

- Precio del agua regenerada con relación a los costos del agua dulce
- Incapacidad para financiar los costos de conversión en terreno
- Preocupaciones con respecto a la calidad del agua y los efectos en los cultivos y en la tierra
- Incapacidad de evitar la exposición de los trabajadores al agua regenerada
- Posibilidad de objeciones de los trabajadores de los campos agrícolas
- Falta de suministro de agua regenerada fiable
- Costos del suministro de agua insignificantes con relación a los inconvenientes del agua regenerada
- Responsabilidad ante reclamos de salud pública o de terceros
- Restricciones en la selección del cultivo, comerciabilidad de los cultivos, ingresos
- Problemas al vender los cultivos a distribuidores o consumidores

Fuente: adaptado de Mills y Asano (1998).

Incluso cuando esto no es posible, la reutilización del agua debe analizarse en relación con otras opciones de suministro de agua y de aguas residuales que cumplen con los mismos objetivos fundamentales (por ej., construcción o mejoramiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, desalinización del agua de mar, trasvase de cuencas).

Para determinar el impacto neto de un proyecto, es necesario comparar cómo se vislumbra el futuro, con y sin el proyecto respectivamente (Asano *et al.*, 2007; Gittinger, 1982; Mills y Asano, 1998). Esto revelaría los impactos, los costos y los beneficios de la opción de no hacer nada o la opción *sin proyecto*. La opción *sin proyecto* describe la situación que se produciría “si todo sigue igual” (la operación de la infraestructura existente de las instalaciones de agua y aguas residuales).

Dado que existen oportunidades para intercambiar agua entre áreas o sectores de uso, sería necesario identificar alternativas para abastecer áreas o sectores individuales, como una base de comparación. Si bien una comparación multirregional o multisectorial puede hacer mucho más complejos los análisis, puede identificar varios beneficiarios, con lo cual es posible conseguir apoyo político y financiero para un proyecto de reutilización de agua.

## 5.5. IDENTIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE PROYECTO

Según los objetivos del proyecto, la información disponible sobre la infraestructura existente y la evaluación del mercado, generalmente se hace necesario contar con una serie de posibles proyectos alternativos de reutilización de agua y de transferencia de agua entre sectores. En una situación ideal, estas alternativas de reutilización se analizarían simultáneamente con otras opciones de suministro de agua y de gestión de aguas residuales en un contexto de recursos de agua integrados.

TABLA 5.6  
Reutilización de agua: ejemplos de alternativas de proyecto

Categoría funcional	Ejemplo de alternativas o variaciones
Suministro de agua dulce (fin único)	Sin proyecto (infraestructura existente). Almacenamiento de agua superficial (presas). Aumento de aguas subterráneas y almacenamiento (recarga, almacenamiento y recuperación del acuífero) Trasvase de cuencas. Desalinización (agua de mar o agua salobre).
Gestión de la demanda de agua	Conservación de agua urbana y agrícola.
Gestión de aguas residuales (fin único)	Sin proyecto (infraestructura existente). Más plantas de tratamiento de aguas residuales. Tecnologías de tratamiento alternativo. Descarga de cursos de aguas residuales tratadas. Aplicación de aguas residuales tratadas en los suelos con o sin una reutilización que pudiera traer beneficios
Reutilización del agua (fin único o varios fines)	Sin proyecto (infraestructura existente). Usos alternativos del agua regenerada. Lugares alternativos para el uso de agua regenerada. Lugares descentralizados de tratamiento a fin de aumentar el acceso a más lugares de uso (plantas de tratamiento satelital). Tecnologías de tratamiento alternativo. Niveles de tratamiento alternativo (existente y nuevo, primario, secundario, terciario, avanzado) Rutas alternativas para tuberías o canales de distribución. Cambios interregionales o intersectoriales de derechos de agua dulce (comercialización de derechos de agua). Uno o múltiples niveles de tratamiento. Una o múltiples plantas de tratamiento de aguas residuales.

En la Tabla 5.6 aparecen ejemplos de las posibles alternativas de proyecto que podrían relacionarse con la justificación de un proyecto de reutilización de agua. Es importante observar que incluso dentro del concepto de proyecto general, podrían existir otras características a considerar, como tecnologías de tratamiento alternativo.

## 5.6. EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

En este informe (Capítulo 1 y el capítulo actual) se destacan diversos criterios importantes mediante los cuales se deben evaluar los proyectos de reutilización de aguas residuales. Si bien a los criterios económicos y financieros se les ha asignado un lugar central en el informe (capítulo 3 y 4), en una decisión de planificación, se suman a otras consideraciones. En el Cuadro 5.2 se muestran cuáles serían los criterios que se deberían considerar al momento de elegir un proyecto (Mills y Asano, 1998; OMS, 2006).

No todos estos criterios se encuentran en el mismo nivel. Dependiendo de la situación local y la política pública, algunos criterios serán de primordial importancia (como la reducción de la contaminación del efluente aguas abajo, superación de una creciente escasez de agua para la agricultura, reducción al mínimo de los costos de aumentar el suministro de agua para las ciudades). Otros criterios serán permisivos (como la protección aceptable de la salud pública, mitigación del daño ambiental, viabilidad legal). Ciertos criterios, tales como la existencia de una demanda aceptable del mercado de utilizar el agua regenerada se pueden incluir en otros, como la viabilidad económica y financiera, que podría incluir el análisis de sensibilidad del impacto de las variaciones en la demanda. Algunos criterios, tales como los económicos y financieros se pueden expresar en términos monetarios, parte de estos se pueden cuantificar en términos no monetarios, otros son de naturaleza cualitativa.

Un método consiste en aceptar ciertos criterios como fundamentales y considerar el ejercicio de planificación como una manera de maximizar (u optimizar) el o los criterios principales, siempre que se cumplan restricciones impuestas por otros criterios. Por ejemplo, el objetivo principal podría consistir en reducir al mínimo el costo económico de obtener agua dulce adicional para las ciudades, siempre que exista una protección aceptable de la salud pública, medio ambiente, etc., y su viabilidad en cuanto a las demandas técnicas, legales y de mercado.

Otro método es a través de un *análisis de múltiples criterios* (AMC), que incluye la creación de una escala, clasificar y ponderar cada criterio (Snell, 1997). Este es un método matemático de optimización formal, que se puede aplicar con flexibilidad para satisfacer las ponderaciones subjetivas o impuestas explícitamente por los responsables de la toma de decisiones, los encargados de las normas o los políticos. Esta flexibilidad proviene, en primer lugar, de aumentar al máximo un criterio único sujeto a niveles aceptables para el resto y luego variar el criterio y las ponderaciones. El AMC ha demostrado ser un método más aceptable y duradero para tomar decisiones de planificación, ya que contiene información sobre todas las consideraciones importantes que conlleva cada situación, incluidos los impactos no monetarios.

El AMC probablemente incluirá *compensaciones*, cuando un proyecto funcione bien según un criterio, pero mal con otro, si se compara con otro proyecto con la clasificación contraria. Mientras más criterios se incluyan, más difíciles y complejas se tornan las compensaciones. Agrupar los resultados de la clasificación en diferentes criterios implica una ponderación implícita (“todos los criterios son de igual importancia”) o establecer prioridades en base a factores arbitrarios y subjetivos (“los problemas ambientales son más importantes”). Sin embargo, la variación sistemática de las ponderaciones puede generar diversas soluciones no

CUADRO 5.2  
Criterios para elegir un proyecto

- Justificación económica
- Viabilidad financiera
- Impacto en la salud pública
- Aceptabilidad pública
- Impacto ambiental
- Viabilidad técnica
- Mercado y demanda
- Viabilidad legal e institucional

inferiores en las cuales ningún objetivo se puede mejorar sin disminuir los otros (el resultado *óptimo de Pareto*).

Un proceso simple de análisis de múltiples criterios incluye los siguientes elementos:

Para cada una de las alternativas de proyecto identificadas (sección 5.5):

- i) enumerar los criterios aplicables al proyecto (Cuadro 5.2);
- ii) para cada criterio crear una escala de opinión (ej., bueno, aceptable, deficiente, inaceptable o una escala de cero a 1) según los factores apropiados para cada uno, por ejemplo, para la justificación económica, el valor presente neto o el análisis costo-beneficio, de riesgo en la salud pública, aceptable o inaceptable conforme a los estándares legalmente exigidos;
- iii) clasificar cada una de las alternativas de proyectos según cada criterio, por ejemplo, una marca en uno de los casilleros (bueno, deficiente, etc.). Como ajuste, se puede crear una escala numérica para los proyectos de 0 a 10, etc. donde 0 = inaceptable y 10 es excelente.
- iv) crear una clasificación para cada proyecto, que muestre las marcas en cada casillero, con la opción de generar una clasificación compuesta única a partir de la escala. Los criterios podrían necesitar diferentes ponderaciones, después de consultar con las principales partes interesadas.
- v) elegir un proyecto preferido según las clasificaciones anteriores. De manera alternativa, crear una lista resumida al eliminar aquellos con clasificaciones peores y aplicar un criterio de preponderancia (ej., relación económica costo beneficio) para seleccionar la opción preferida final.

## 5.7. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

Primero se debe elaborar un plan de implementación del proyecto y luego se debe tomar la decisión final de continuar con un proyecto de reutilización de agua. Muchos elementos se deben poner en práctica para que el proyecto tenga éxito, en particular el acuerdo de las diversas partes interesadas. Posponer la resolución de dificultades hasta una fase avanzada del diseño o incluso hasta después de finalizar la construcción puede generar falsas expectativas e incluso el fracaso del proyecto. Se deben identificar todas las actividades clave incluidas en la implementación. Se debe identificar una entidad responsable y elaborar un programa de desempeño para cada una de las siguientes actividades:

- Diseño de las instalaciones
- Construcción
- Operación de tratamiento de aguas residuales
- Transporte de agua regenerada y entrega a los usuarios (agricultores o distritos de riego)
- Financiación de la construcción
- Recaudación de ingresos o impuestos por operaciones del proyecto y pago de deudas
- Asistencia técnica a los agricultores durante el inicio del proyecto y resolución de problemas a largo plazo
- Análisis, seguimiento y evaluación.

Es probable que más de un organismo deba participar en todas estas actividades, en cuyo caso serán necesarios acuerdos contractuales entre los organismos para definir sus responsabilidades y el reembolso de los costos incurridos. Al término de la planificación, debería existir un acuerdo general sobre el marco de responsabilidades y disposición de participar en un proyecto, a pesar de esto igualmente se deben negociar ciertos detalles contractuales. Por lo general, se necesitarán contratos u otros acuerdos legales con los agricultores, según se analiza en la Sección 5.4. Al concluir la planificación, debe existir una confirmación por escrito de los agricultores o sus representantes y municipalidades de la disposición a firmar contratos en una fecha anticipada. En los contratos se deben especificar los compromisos de cada una de las partes que participan, por ejemplo, volúmenes y calidad de las aguas residuales tratadas y de agua dulce liberada, uso de tecnologías de riego que permiten el ahorro de agua, cobros a los usuarios del agua, pagos de compensaciones, período de validez, etc.

## 5.8 PROBLEMAS TÉCNICOS

El agua residual municipal contiene residuos domésticos, comerciales o industriales descargados en un sistema de recolección de aguas residuales. A esto se le puede agregar la escorrentía de aguas lluvia, a menos que estas se capten por separado. Esta escorrentía puede estar altamente contaminada. Las aguas residuales pasan por una serie de instalaciones en su camino a los diferentes tratamientos, vertido y sitio de utilización:

- Sistema de recolección de alcantarillado
- Planta de tratamiento de aguas residuales (se debe hacer notar que una unidad de agua regenerada podría estar fuera de la planta de tratamiento de aguas residuales y gestionarse por separado)
- Sistema de distribución de agua regenerada
- Instalaciones en terreno en los lugares de reutilización.

En la Figura 5.2 se muestra un diagrama de flujo del trayecto de las aguas residuales desde la fuente al punto de uso. A cada segmento del manejo y reutilización de aguas residuales se asocian diversos costos, como se muestra en la Tabla 5.7. Para obtener agua regenerada se puede incurrir en costos especiales que no se requerirían en el caso del uso de agua dulce, por ejemplo, protección pública, de los trabajadores y ambiental, agua adicional para lixiviación en los suelos, o protección de sistemas de agua potable, especialmente en áreas urbanas. Algunas instalaciones son necesarias para la descarga de aguas residuales, sin importar si estas se reutilizan o no. Para fines de análisis económicos y financieros, se deben identificar y calcular los costos diferenciales o incrementales de la reutilización de aguas residuales, en comparación con el tratamiento y desecho de aguas residuales “normales”.

En diversos puntos del ciclo del agua, como se muestra en la Figura 5.2, el agua dulce y el agua residual se almacenan y se mezclan con agua proveniente de otras fuentes. Las características del agua y aguas residuales pueden cambiar considerablemente cuando se retienen por algún período, en especial cuando se combinan, de ahí la importancia de los controles en el punto de uso final.

Algunos de los elementos de costes específicos que surgen de un sistema de regeneración y reutilización del agua son:

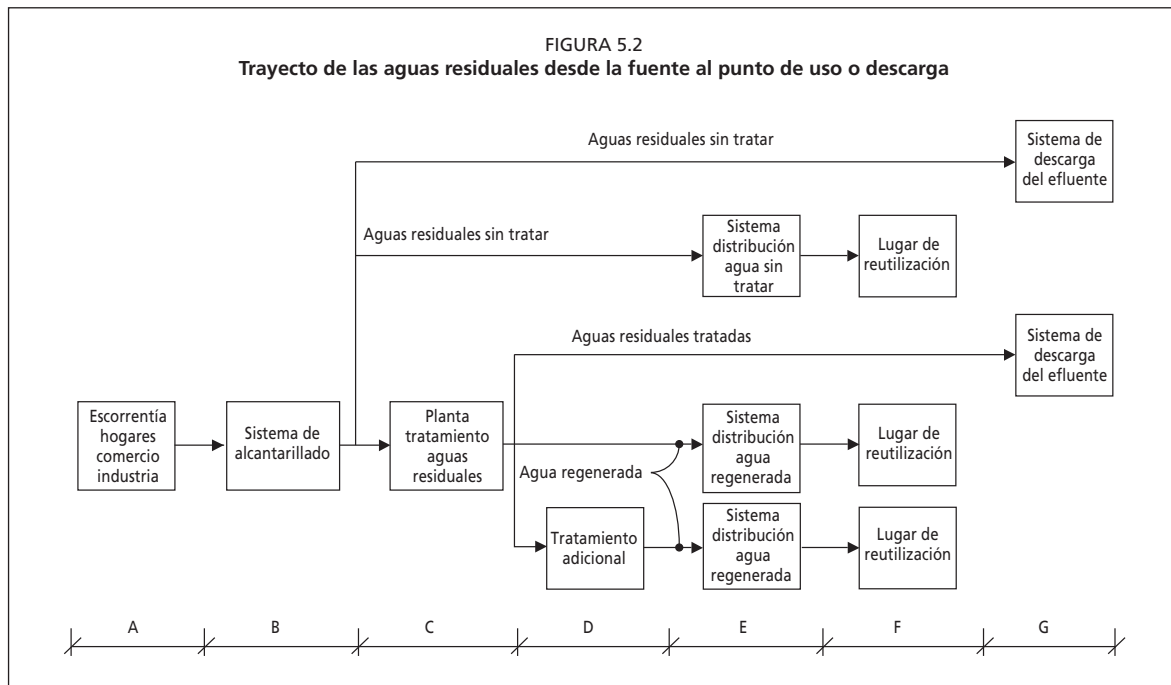


TABLA 5.7

**Elementos de costos más importantes de los sistemas de reutilización de aguas residuales**

Segmento del sistema	Justificación económica	
	Viabilidad financiera	Otros costos
A Generación de aguas residuales	Impacto en la salud pública	Sistema regulador de control de la fuente
B Sistema de alcantarillado	Aceptabilidad pública	
C Tratamiento de las aguas residuales para su descarga o reutilización	Impacto ambiental	Sistema regulador para establecer estándares de tratamiento o de calidad del efluente y para controlar la calidad del agua tratada, protección de los trabajadores
D Tratamiento adicional de las aguas residuales para su reutilización	Viabilidad técnica	Sistema regulador para establecer estándares de tratamiento o de calidad del efluente y para controlar la calidad del agua tratada, protección de los trabajadores
E Sistema de distribución de aguas residuales sin tratar o aguas regeneradas	Mercado y demanda	
F Sitio de reutilización	Viabilidad legal e institucional	Compra de agua adicional para lixiviación de sales del suelo, protección de los trabajadores, efectos negativos en la producción agrícola e ingresos, educación de los residentes locales, control de las aguas subterráneas, inspección para el cumplimiento de las normas
G Sistema de descarga del efluente		Inspección para el cumplimiento de las normas

- Agua dulce adicional para mantener la seguridad del suministro en el sistema de distribución de agua regenerada.
- Dispositivos de prevención de flujo de retorno en tuberías de agua potable que entran a los lugares de uso, con el fin de evitar que el agua potable contaminada vuelva a ingresar al suministro de agua potable de la comunidad.

A continuación se analizan otros problemas técnicos que es necesario considerar (consultar también Asano, 1998; Asano *et al.*, 2007; Lazarova y Bahri, 2005a; Pescod, 1992; OMS, 2006).

**Equilibrio entre la oferta y la demanda**

La fiabilidad del agua regenerada y reciclada depende de dónde se toma y dónde se almacena el agua dulce original. En ciertas circunstancias, esto la hace más fiable que las fuentes de agua alternativas de los agricultores. En todo caso, las necesidades de riego tienen máximos y mínimos relativos estacionales diferentes a la demanda de los hogares. Las aguas residuales sin tratar tienen sus propias características de flujo variable:

- i) La cantidad de aguas residuales en la mayoría de las comunidades varía enormemente, con un máximo durante el día y un mínimo durante la noche.
- ii) El agua de lluvia puede filtrarse en los sistemas de alcantarillado, lo cual genera mayores caudales de aguas residuales durante las tormentas o durante las estaciones lluviosas.
- iii) Los caudales de aguas residuales pueden tener variaciones estacionales u otras variaciones debido al turismo, las industrias estacionales u otras condiciones.

Desde el punto de vista de la demanda, cada usuario de agua tiene sus propias características. Las áreas verdes urbanas tienen sus propias necesidades habituales, que son diferentes a las del riego agrícola. El riego satisface las necesidades de evapotranspiración de los cultivos, a través de la lixiviación para mantener la calidad del suelo y, en algunos casos, realiza una función de calentamiento o enfriamiento de los cultivos en climas extremos. La demanda de agua en la agricultura podría cambiar en la medida en que esta se convierta al agua regenerada, posiblemente generando una mayor demanda de agua para aumentar el rendimiento de los cultivos, cultivar diferentes cultivos o permitir más plantaciones durante el período vegetativo. Debido a que el agua regenerada puede contener elementos no presentes en el agua dulce, podría ser necesario aumentar la cantidad de agua aplicada para eliminar el

exceso de sales del suelo. Los clientes comerciales e industriales también pueden variar su demanda en ciertas horas del día, días de la semana o estación.

Existe poco control o simplemente no existe control sobre los caudales de aguas residuales sin tratar que se descargan desde el sistema de alcantarillado. Tratadas o no, las aguas residuales se deben usar directamente, aplicar al suelo, descargar en un curso u otra superficie de agua o almacenar hasta que se pueda usar o descargar de manera segura. El almacenamiento por lo general requiere sistemas de distribución para el agua regenerada. El almacenamiento a largo plazo o estacional, con frecuencia, se utiliza en el caso de uso agrícola o donde la descarga de aguas residuales está prohibida debido a las medidas de protección de las aguas superficiales. El almacenamiento a corto plazo, con frecuencia, se usa en áreas urbanas, donde el almacenamiento estacional no es viable o donde existe insuficiente demanda para justificar el transporte de caudales desde climas húmedos a estaciones secas para su uso.

El almacenamiento a corto plazo puede hacer coincidir el agua regenerada con las demandas de agua por hora. Por ejemplo, el riego de un área verde urbana, con frecuencia, se realiza por la noche, cuando los caudales de aguas residuales se encuentran en su menor nivel, a fin de evitar el contacto humano con el agua regenerada en parques o patios de colegios. El almacenamiento con fines de equilibrio se incorpora frecuentemente en las plantas de tratamiento de aguas residuales para permitir que los procesos de tratamientos aguas abajo funcionen más eficazmente, incluso en los caudales por hora. Las consideraciones de diseño y técnicas de evaluación se abordan en varias referencias bibliográficas (Asano *et al.*, 2007; Mills y Asano, 1998).

### Calidad del agua

Independientemente de su fuente, la calidad del agua es un tema fundamental en la agricultura (Ayers y Westcot, 1985). Los usos comunes del agua potable en los hogares e instalaciones comerciales e industriales aportan salinidad y sustancias químicas que no se eliminan en el tratamiento normal de aguas residuales. El agua regenerada puede tener una concentración mayor de algunas sustancias químicas y componentes adicionales que, por lo general, se encuentran en el agua dulce, sin embargo estas se pueden eliminar antes de su uso, por ejemplo, la unidad de desalinización de OI en los casos de Llobregat en el Capítulo 2.

TABLA 5.8.  
Calidad y efectos del agua regenerada en el uso agrícola

Categoría	Ejemplo de componentes	Posibles efectos
Nutrientes y oligoelementos	Nitrógeno Fósforo Potasio Calcio Magnesio Sulfato	Positivo: Esenciales para el crecimiento de las plantas Menor necesidad de fertilizantes Negativo: Fitotóxicos en concentraciones excesivas Excesivo crecimiento foliar, retraso en la maduración, calidad deficiente del cultivo (debido a exceso de nitrógeno durante la fase de floración/fructificación) Tóxicos para el ganado en altas concentraciones en el pienso Biopelículas en las tuberías Crecimiento de algas en canales o almacenamientos abiertos
Sólidos en suspensión	Partículas Algas en aguas residuales o su posterior crecimiento en el almacenamiento, producto de los nutrientes en el agua regenerada	Obstrucción de infraestructuras de riego, en especial en rociadores y goteadores
Salinidad	Total de sólidos disueltos (conductividad eléctrica)	Estrés de los cultivos y reducción del crecimiento directamente a causa del agua de riego o acumulación de sal en el suelo proveniente del agua de riego
Sodicidad	Sodio (tasa de adsorción de sodio)	Impermeabilidad del suelo
Elementos tóxicos de iones específicos	Sodio Cloruro Boro	Fitotoxicidad (daño a las hojas, enfermedades degenerativas, menor productividad)



La calidad del agua en relación con la salud pública se aborda a continuación y en el capítulo 1 (consulte también Asano *et al.*, 2007; Lazarova y Bahri, 2005a; Pescod, 1992; Pettygrove y Asano, 1985). En el contexto de la agricultura, los elementos presentes en el agua regenerada pueden tener efectos positivos o negativos. En la Tabla 5.8 aparecen las principales categorías de los componentes de la calidad del agua y sus efectos.

Algunos de estos efectos negativos pueden mitigarse. Ciertos componentes se pueden reducir a través del control en la fuente, al evitar que las sustancias químicas se descarguen en el alcantarillado. Los ablandadores de agua que se utilizan en los hogares, con niveles muy altos de sales de sodio, contribuyen a la salinidad y la sodicidad y han sido prohibidos en ciertas comunidades. Se pueden restringir algunas fuentes industriales de boro u otras sustancias químicas. Otra opción es restringir la entrega de agua regenerada durante las fases sensibles de crecimiento de las plantas, por ejemplo, el uso de agua de buena calidad en el período de crecimiento inicial y de una calidad inferior más adelante. Esta práctica puede incluso aumentar la calidad de varias frutas (Oron, 1987; Hamdy, 2004). El plan de cultivos se puede modificar para favorecer especies o variedades más tolerantes. Todos estos efectos y medidas de mitigación tienen impactos potenciales en los costos y beneficios generales y en los ingresos de las fincas, producto del uso de agua regenerada.

### Salud pública (ver además el Capítulo 1)

Las principales fuentes de agentes patógenos en las aguas residuales son los hogares, los hospitales y los edificios de oficinas. Los usos comerciales e industriales del agua potable pueden agregar sustancias químicas perjudiciales a las aguas residuales. El nivel de eliminación de agentes patógenos y sustancias químicas mediante el tratamiento de las aguas residuales depende de los niveles de tratamiento y tecnologías utilizadas. El riesgo a la salud depende de la infectividad de los agentes patógenos, sus concentraciones en el agua regenerada y el grado de contacto con los seres humanos. Se pueden lograr niveles aceptables de riesgo a través de niveles de tratamiento adecuados de las aguas residuales según el tipo de uso y el contacto humano asociado, como asimismo practicar estrategias de gestión de riesgos de barreras múltiples presentes en las Buenas Prácticas Agrícolas.

En la Tabla 5.9 aparecen ejemplos de los componentes de las aguas residuales que podrían afectar la salud pública. La transmisión de enfermedades se puede evitar o reducir mediante el tratamiento adecuado de las aguas residuales, el correcto manejo del agua regenerada y las prácticas agrícolas. En la Tabla 5.10 aparecen las poblaciones expuestas al riesgo y sus medios de exposición a agentes patógenos o sustancias químicas en el agua regenerada.

Además de su exposición directa al agua regenerada, las personas también corren el riesgo de recibir agentes patógenos y sustancias químicas a través de la cadena alimenticia en los cultivos o en las aguas subterráneas o cursos de agua mediante la percolación o la escorrentía agrícola. Los puntos de exposición (con referencia a los puntos en la Fig. 5.2) y los grupos expuestos se pueden resumir de la siguiente forma:

- Descarga de aguas residuales no tratadas o tratadas en aguas superficiales (aguas abajo del punto G): pescadores, nadadores, bañistas, usuarios de agua potable aguas abajo
- Tratamiento de aguas residuales (puntos C y D): trabajadores
- Riego (punto F): trabajadores de campos agrícolas, residentes locales o transeúntes
- Manejo de cultivos (punto F y posteriores): trabajadores, consumidores de cultivos
- Exceso de percolación del agua de riego (punto F y posteriores): consumidores de aguas subterráneas
- Escorrentía de los campos agrícolas hacia cursos de agua y canales (punto F y posteriores): pescadores, nadadores, bañistas, usuarios de agua potable aguas abajo, residentes locales
- Ingesta de cultivos (después del punto F): consumidores de cultivos.

En la Tabla 5.10 se muestra un resumen de los riesgos a la salud que se pueden encontrar.

TABLA 5.9

**Agentes patógenos o sustancias químicas transmitidas por el agua que afectan la salud, presentes en las aguas residuales**

Categoría de contaminantes	Ejemplos específicos	Consecuencias
Agentes patógenos relacionados con excrementos	Bacterias Helmintos Protozoos Virus	Enfermedades humanas (infección directa o indirecta)
Agentes irritantes de la piel	No determinado, pero probablemente mezclas de sustancias químicas y agentes microbianos	Dermatitis por contacto
Agentes patógenos transmitidos por vectores	<i>Plasmodium</i> spp. <i>Wuchereria bancrofti</i>	Enfermedades humanas
Sustancias químicas	Metales pesados Compuestos orgánicos Compuestos inorgánicos	Enfermedad humana aguda o crónica (contacto directo o indirecto a través de los alimentos)

Fuente: Adaptado de la Organización Mundial de la Salud, 2006.

TABLA 5.10

**Resumen de los riesgos para la salud asociados con el uso de aguas residuales para el riego**

Grupo expuesto	Riesgos para la salud		
	Infecciones por helmintos	Infecciones por bacterias/virus	Infecciones por protozoos
Consumidores	Importante riesgo de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas	Brotes de cólera, tifus y shigelosis reportados por el uso de aguas residuales no tratadas; respuestas de seropositivo para <i>Helicobacter pylori</i> (no tratado; aumento de la diarrea no específica cuando la calidad del agua excede 10 <sup>4</sup> coliformes termotolerantes / 100 ml)	Evidencia de protozoos parásitos encontrados en superficies de hortalizas regadas con aguas residuales, pero sin evidencia directa de transmisión de la enfermedad
Trabajadores agrícolas y sus familias	Importante riesgo de infección por helmintos en adultos y niños por aguas residuales no tratadas; mayor riesgo de infección por anquilostoma en trabajadores que no usan zapatos; el riesgo de infección por helmintos persiste, sobre todo en niños, aun cuando el agua residual se trate a < 1 huevo de helminto por litro; el riesgo en los adultos no ha aumentado con esta concentración de helmintos	Mayor riesgo de enfermedad diarreica en niños pequeños que tienen contacto con aguas residuales si la calidad del agua excede 10 <sup>4</sup> coliformes termotolerantes / 100 ml; mayor riesgo de infección por <i>salmonella</i> en niños expuestos a aguas residuales no tratadas; mayor serorrespuesta a norovirus en adultos expuestos a aguas residuales parcialmente tratadas	Se reportó un riesgo de infección mínimo por <i>Giardia intestinalis</i> por el contacto con aguas residuales no tratadas y tratadas; sin embargo, en otro estudio realizado en Pakistán se estimó que el riesgo de infección por <i>Giardia</i> aumentó tres veces en aquellos agricultores que utilizan aguas residuales sin tratar, en comparación con el riego con agua dulce; se observa mayor riesgo de amebiasis cuando existe contacto con aguas residuales no tratadas
Comunidades cercanas	Transmisión de infecciones por helmintos no estudiadas en el caso del riego por aspersión, aunque lo anterior se aplica para el riego por inundación o por surcos, donde existe un alto contacto	Riego por aspersión con calidad de agua deficiente (10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup> coliformes totales / 100 ml) y alta exposición a pulverización asociada a mayores tasas de infección; el uso de aguas parcialmente tratadas (10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup> coliformes termotolerantes / 100 ml o menos) en riego por aspersión no se asocia a mayores tasas de infecciones por virus	No hay datos con respecto a la transmisión de infecciones por protozoos durante el riego por aspersión con aguas residuales

Fuente: Directrices OMS/FAO (2006).

El tratamiento de aguas residuales es la barrera más importante en contra de la transmisión de enfermedades, pero también es necesario tomar otras precauciones. Los métodos de control de la exposición para los grupos de riesgo son los siguientes (Lazarova y Bahri, 2005b).

1. Trabajadores en el tratamiento de aguas residuales, trabajadores de campos agrícolas y manipuladores de cultivos:
  - Usar el tratamiento adecuado de aguas residuales, incluida la desinfección
  - Usar ropa protectora, como botas y guantes
  - Mantener altos niveles de higiene
  - Inmunización o control mediante quimioterapia de ciertas infecciones (si el agua regenerada no se desinfecta adecuadamente).
2. Usuarios de cursos de agua o canales (pescadores, nadadores, etc.):
  - Tratamiento adecuado de las aguas residuales, incluida desinfección, antes de la descarga
  - Restricciones al uso de los cursos de agua
  - Información a los usuarios de los cursos de agua, signos de advertencia.
3. Consumidores de productos agrícolas:
  - Realizar el tratamiento adecuado de las aguas residuales, lo que incluye la desinfección, según cultivo y nivel de exposición
  - Lavar y cocinar los productos agrícolas antes de su consumo
  - Altos estándares de higiene de los alimentos, los cuales se deben resaltar en la educación de la salud, apropiados para el tipo de tratamiento de aguas residuales y exposición del consumidor
  - Restricciones en los tipos de cultivos regados con aguas regeneradas.
4. Residentes locales:
  - Uso adecuado del tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la posible exposición
  - Informarles respecto del uso de aguas residuales y las precauciones para evitar ciertos campos o canales, signos de advertencia
  - No usar rociadores a menos de 50 a 100 m de las casas o caminos, dependiendo del nivel de tratamiento de aguas residuales.
5. Todos los grupos:
  - Control de la fuente en el sistema de alcantarillado para evitar que sustancias químicas tóxicas entren en las aguas residuales.

Existe una compensación recíproca entre el nivel de tratamiento de aguas residuales y el nivel de restricciones y precauciones requeridas para los trabajadores y consumidores. Es posible que sea difícil controlar el comportamiento de los trabajadores, residentes o consumidores mediante la higiene, educación o prácticas en terreno. Los agricultores podrían resistirse a que les impongan restricciones en el tipo de cultivo que pueden cultivar, como cultivos de alimentos que se comen sin cocinar.

Los riesgos a la salud provenientes del uso de aguas residuales en la agricultura han sido analizados en dos áreas de investigación: Análisis cuantitativo del riesgo microbiano (ACRM) aplicado al riego y a la epidemiología (Mara *et al.*, 2007). En los últimos años, ha existido un movimiento para aplicar el concepto de APPCC (Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control) para regeneración y reutilización de aguas residuales (Westrell *et al.*, 2003). Los procedimientos del APPCC se establecieron inicialmente para los productos comestibles y las industrias aeronáuticas y farmacéuticas, donde el objetivo final consiste en generar productos sanos y seguros.

Ciertas prácticas de uso y niveles de tratamiento de aguas residuales han sido establecidos a través de reglamentaciones, tomando en consideración las prácticas agrícolas, higiene, procesamiento de alimentos y nivel de exposición humana, y considerando además el riesgo calculado de diversos agentes patógenos (U.S.EPA y U.S.AID, 2004). La tercera edición de las directrices de la OMS y la FAO para el uso seguro de aguas residuales, excrementos y aguas grises, publicada en 2006, es una actualización más detallada de las dos ediciones anteriores, ampliada para incluir nuevas pruebas científicas y

métodos actuales para la gestión del riesgo (Asano *et al.*, 2007; OMS, 2006). Si bien es técnicamente viable obtener cualquier calidad requerida de efluente de agua a partir de un tipo de agua residual en especial, el costo del tratamiento podría ser tan alto como para no hacer viable la regeneración. En este caso, la práctica recomendada es usar la Mejor Tecnología Disponible (MTD), que implica usar la mejor tecnología adaptada para cada caso específico, considerando todos los problemas relacionados con el tratamiento según la calidad final y la regeneración.



## Capítulo 6

# Conclusiones

### 6.1. CONTEXTO Y PUNTO DE PARTIDA

El uso en agricultura de agua regenerada es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez mas en regiones con escasez de agua.

Numerosas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits de agua producto del crecimiento implacable de la demanda frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías. Muchas veces los recursos hídricos no son solo escasos, sino que están cada vez más contaminados. Esto se debe a las aguas residuales, frecuentemente sin tratar, de ciudades en expansión y a la contaminación asociada a ciertos modelos de intensificación de la agricultura e industrialización. Dicha contaminación del agua empeora los impactos de la escasez, al reducir la cantidad de agua segura para el consumo.

Además de estas presiones se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias. Las recientes y prolongadas sequías en el cuerno de África son un ejemplo de los altos costos económicos, sociales y políticos de los déficits hídricos.

La reutilización de agua es una opción comprobada para lograr un mejor equilibrio entre la oferta y la demanda. No es la única opción, pero en muchos casos es una solución costo-eficaz, como lo demuestra el creciente número de sistemas de reutilización instalados en diferentes partes del mundo<sup>1</sup>. Un estudio global de 2006 (Aquarec) ha mostrado que existían ya en esa fecha alrededor de 3 300 centros de regeneración de agua a nivel mundial y que estos van en aumento rápidamente.

#### La reutilización del agua y la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

La reutilización del agua se ajusta al paradigma de la GIRH – “...es un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinada del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante, de una manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas”<sup>2</sup>. La reutilización evita una presión adicional sobre el agua dulce cuando esta es escasa y reduce la contaminación de las aguas residuales para los usuarios aguas abajo y para el entorno natural.

La reutilización de aguas residuales es un medio para reciclar no solo el agua, sino también nutrientes-fertilizantes, los cuales se desaprovechan en el proceso de tratamiento y vertido. “Cerrar el ciclo de nutrientes” conlleva el retorno de estos nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, al suelo donde pueden ser de beneficio para el crecimiento de las plantas, en lugar de verterlos a ríos, estuarios, humedales o aguas costeras donde pueden provocar serios problemas (por ejemplo: eutrofización, proliferación de algas, hipoxia, muerte de peces, etc.). El alto costo ambiental, y a la larga económico, de dicha contaminación por nutrientes es una creciente preocupación.

<sup>1</sup> Ejemplo: “La propuesta de la represa de Traveston de Queensland ha sido rechazada por el gobierno federal australiano, lo cual significa que el Estado tendrá que implementar estrategias alternativas para la obtención de recursos hídricos, que incluyen la desalinización y la reutilización”. *Global Water Intelligence*, Nov 2009.

<sup>2</sup> Global Water Partnership, *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos* TAC Background Papers No 4, 2000, p. 22.

## 6.2. SINERGIAS Y OPORTUNIDADES PARA TODOS

Este informe se centra principalmente en la agricultura, que es el mayor usuario de agua regenerada a nivel mundial. Sin embargo, es necesario colocar la reutilización del agua en un contexto más amplio, más allá de la agricultura.

La regeneración de aguas residuales y su uso en agricultura puede beneficiar simultáneamente a diferentes partes interesadas: las *ciudades* (representadas por las autoridades urbanas), los *agricultores* y el *medio ambiente* (representado por los encargados de su protección). Este informe estudia en detalle las implicaciones para cada una de estas partes interesadas. Sin embargo, el uso de agua regenerada también es atractivo para la industria, centrales eléctricas, centros recreativos y usos municipales, como el riego de zonas verdes o el baldeo de calles, generalmente como una alternativa al agua de mar desalinizada. La metodología descrita en este informe es también válida para el análisis económico de estos tipos de reutilización.

### Agricultura

La agricultura se puede beneficiar de la reutilización de varias maneras: las aguas residuales (tratadas o no) suponen una fuente de agua muy estable todo el año y es una de las opciones que tienen los agricultores para mejorar su seguridad del agua en el largo plazo y minimizar la exposición a riesgos hídricos estacionales. Asimismo su contenido en nutrientes y fertilizantes puede contribuir a aumentar el rendimiento de los cultivos. Además, cuando las aguas residuales (tratadas o no) sustituyen a la extracción de aguas subterráneas puede haber serios ahorros en los costos de bombeo. Por último, la reutilización facilita la implantación de sistemas productivos periurbanos, más cerca de los núcleos de consumo, con lo que los costos de transporte de alimentos también disminuyen. Todo esto se puede traducir en mayores rendimientos, más cultivos por año y, en definitiva, mayores ingresos para los agricultores. La clave radicará en cual sea el impacto del proyecto de reutilización en sus gastos.

En los estudios de casos de este informe hay agricultores que responden positivamente al uso del agua regenerada, ya sea como una fuente exclusiva, mezclada con agua de otras fuentes o utilizada de manera indirecta a través de la recarga de acuíferos. La reutilización ha sido utilizada como un recurso temporal en años de sequía y como una solución a largo plazo.

Por sus altos costos, no se recomienda la regeneración avanzada de aguas residuales para su uso en riego de cultivos de bajo valor, a menos que existan otros beneficios para otros sectores. La regeneración avanzada requiere una considerable inversión en nueva infraestructura (red de distribución, instalaciones de almacenamiento costosas, tratamiento específico adicional como la eliminación del exceso de sales, etc.), y en estas circunstancias los sistemas de reutilización no se justifican solamente por sus beneficios agrícolas. A pesar de que los agricultores pueden ser beneficiarios netos del uso de aguas residuales tratadas, en comparación con sus fuentes de agua anteriores o alternativas, el resultado final depende mucho de las circunstancias locales y, en cualquier caso, sus beneficios netos pueden no anular los costos totales del sistema. Esto destaca la importancia de visualizar la reutilización como un elemento de la GIRH, que hace referencia a los costos y beneficios de la gestión del agua desde un punto de vista más general.

### Ciudades

Las ciudades se pueden beneficiar de la reutilización principalmente por tres razones: (i) pueden fortalecer su seguridad alimentaria al suministrar con agua y nutrientes a la agricultura periurbana, (ii) pueden solucionar de una manera costo-eficaz el problema de sus aguas residuales, y en particular la eliminación de nutrientes y (iii) pueden aumentar su disponibilidad de agua, cuando el agua residual se reutiliza para usos municipales, o cuando se intercambian aguas regeneradas por agua dulce entre las ciudades y la agricultura.

La agricultura urbana y periurbana es un medio de *mejorar la situación alimentaria y nutricional de las poblaciones urbanas*. Comprende la producción de cultivos, pecuaria y acuícola realizada con la participación de la población local, utilizando diferentes espacios y técnicas, dentro y en la periferia



inmediata de la ciudad y otros asentamientos humanos. Estos sistemas agrícolas urbanos y periurbanos requieren de agua y nutrientes-fertilizantes para producir. Recuperar estos recursos de las aguas residuales municipales de una manera segura ha demostrado ser una solución costo-eficaz para mejorar la productividad y contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de las ciudades.

La reutilización es también una posible *solución para el tratamiento y vertido de las aguas residuales*: La población mundial crece y se concentra en las ciudades a un ritmo muy alto, esto hace que la producción de aguas residuales municipales esté creciendo vertiginosamente. Sin embargo la cobertura de saneamiento y depuración no va al mismo ritmo. De hecho, se estima que en el África subsahariana, se depuran de una manera efectiva antes del vertido menos del 1% de las aguas residuales (Kerita *et al.*, 2009). Tanto en países en desarrollo como emergentes, se ha recurrido a la agricultura como “filtro verde” para el tratamiento de aguas residuales. El caso de Ciudad de México-Tula es un típico ejemplo de beneficio mutuo, tanto para la ciudad como los agricultores. Allí, hasta ahora, se han venido vertiendo en tierras agrícolas las aguas residuales de la Ciudad de México sin tratar, lo cual ha permitido que se lleven a cabo procesos naturales de purificación a la vez que se producen forrajes y otros productos agrícolas. La reutilización ha permitido la dispersión del efluente y su asimilación en áreas extensas. La reutilización de los nutrientes y materia orgánica de las aguas residuales en la producción de cultivos resulta atractiva en términos de eficiencia y sostenibilidad ambiental.

Por último, la reutilización puede ser parte de la *solución para el abastecimiento de agua urbana*. Con el desarrollo socioeconómico, las ciudades aumentan sus recursos financieros y sus normas de protección ambiental, lo cual hace que tengan incentivos y capacidad para tratar sus aguas residuales. Una vez tratadas, estas aguas pueden ser utilizadas para diversos usos urbanos (como el riego de jardines públicos, el baleo de calles o el agua de los inodoros), usos industriales (como la refrigeración industrial) o recarga de acuíferos (para abastecimiento urbano indirecto). El uso de agua regenerada para estos usos evita la extracción de agua dulce de ríos o de aguas subterráneas cuando estas son escasas. El máximo desarrollo del reciclaje consiste en la reutilización directa para todos los usos domésticos incluyendo el agua potable (como en Windhoek, Namibia), aunque aún son casos aislados (Bahri, 2009). Existe un mercado activo y de rápido crecimiento de proyectos de reutilización de aguas residuales, la mayoría de ellos destinados al uso urbano e industrial (GWI, 2009).

Un tipo de acuerdo en que todos pueden ganar es la renuncia sobre los derechos de agua por parte de los agricultores en favor de las ciudades a cambio de suministros garantizados de aguas regeneradas para la agricultura. La figura 6.1 ilustra un ejemplo de este intercambio de aguas. Esto permite que las

FIGURA 6.1  
Ejemplo simplificado de intercambio intersectorial de aguas bajo condiciones de escasez



Fuente: FAO

ciudades tengan acceso a agua dulce a un costo menor, para ser utilizada para cualquier fin, incluyendo el agua potable. Para que los agricultores participen voluntariamente de un acuerdo de este tipo, deben recibir agua que sea por lo menos igual de fiable que sus fuentes alternativas, y mejor si contiene nutrientes para el crecimiento de sus cultivos. Dependiendo del lugar, también podría haber beneficios ambientales gracias a un acuerdo como este.

Los estudios de casos muestran situaciones en las cuales las condiciones se dan o no para que un intercambio entre sectores sea viable. Los casos del Llobregat en España y de Durango en Ciudad de México son ejemplos en que existen condiciones físicas y geográficas y en que factores legales y económicos podrían incidir en el resultado. En los otros casos, existen barreras obvias para que no se produzca un acuerdo entre sectores de este tipo.

### **Medio ambiente**

El medio ambiente en su conjunto, y especialmente los ecosistemas acuáticos, se pueden beneficiar del tratamiento y reutilización segura de aguas residuales. La reutilización puede mejorar la calidad del agua y aumentar su disponibilidad para usos ambientales. Además los sistemas de reutilización asociados a la agricultura y agrosilvicultura tiene un alto potencial de secuestro de carbono y de mitigación del cambio climático.

Los sistemas de tratamiento para reutilización reducen los contaminantes de las aguas residuales. Además la agricultura hace un efecto de filtro verde, como se ha descrito anteriormente, que facilita la absorción de nutrientes por las plantas. Nutrientes que, si se vierten descontroladamente a las masas de agua, pueden provocar serios problemas de eutrofización de masas de agua superficiales y contaminación de acuíferos (por ejemplo, por exceso de nitratos). Por otra parte los mecanismos de reutilización e intercambio entre la agricultura y el medio ambiente también pueden ser muy beneficiosos. Así, el uso en agricultura de aguas residuales (tratadas o no) puede liberar el agua dulce para usos medioambientales, por ejemplo para recarga de acuíferos o para aumento de caudales ambientales en los ríos.

Por otra parte las emisiones evitadas de gases de efecto invernadero a través del tratamiento de aguas residuales de baja intensidad de carbono y la captura de carbono a través de la producción de biomasa (por ejemplo lodos de depuración o biomasa agroforestal) contribuiría a la mitigación del cambio climático, pudiéndose conseguir además créditos de carbono para los mercados voluntarios de carbono o para el Mecanismo de Desarrollo Limpio, y otros pagos por servicios ambientales, que favorecería la viabilidad económica de este modelo.

### **6.3. RIESGOS Y GESTIÓN DE RIESGOS**

El uso de aguas residuales, sin tratar o deficientemente tratadas, se ha extendido ampliamente en la agricultura urbana y periurbana, que es una importante fuente de hortalizas frescas en muchas áreas marginalizadas de las grandes urbes de todo el mundo (Bahri, 2009). En tres de cada cuatro ciudades de países en desarrollo las aguas residuales son utilizadas para riego sin ningún tratamiento efectivo. En muchas ciudades de África occidental, más del 90% de las hortalizas consumidas son cultivadas dentro de las ciudades, lo cual implica que una alta proporción se cultiva utilizando aguas residuales urbanas sin tratar. Esto supone claros riesgos para la salud humana y ambiental.

Los sistemas para proporcionar esta agua con frecuencia son simples e improvisados, el tratamiento es mínimo o no existen y las necesidades de transporte y de bombeo son relativamente bajas. Esto se traduce en bajos costos que, junto con el valor relativamente alto de los productos, el valor fertilizante de las aguas residuales y la estabilidad en el suministro, hacen que esta práctica sea atractiva para los agricultores desde el punto de vista económico. En la medida que haya un mayor desarrollo económico, aumente la concienciación sobre los riesgos sanitarios y se hagan más estrictas las normativas ambientales, se irán tratando las aguas residuales, sin embargo, en muchos países de bajos ingresos se mantendrá en el medio plazo el uso agrícola de aguas residuales sin tratar o parcialmente tratadas.

En estas situaciones, una respuesta realista implicará una combinación costo-eficaz de medidas para resguardar la salud pública. Estas medidas pueden incluir: sistemas de tratamiento baratos (como por ejemplo lagunas de estabilización), restricción de cultivos, buenas prácticas en campo y medidas de higiene postcosecha en un enfoque “de múltiples barreras”, en base a las directrices de la OMS, FAO y PNUMA.

Existen sólidos argumentos para hacer que las políticas nacionales acerca del tratamiento de las aguas residuales para reutilización sean más realistas y pragmáticas, y adaptadas a las capacidades de los diferentes países, lo que se resumen en “un cambio de paradigma en que la reutilización del agua defina el grado requerido de tratamiento, en que las soluciones técnicas coincidan con las capacidades y que el tratamiento de las fuentes urbanas sea implementado según un enfoque de múltiples barreras, que combinen el tratamiento con diferentes medidas de protección sanitaria” (Bahri, 2009, p. 52).

#### 6.4. LA VIABILIDAD DE LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA

La viabilidad de los proyectos de reutilización radica en una serie de factores clave. La viabilidad de proyectos de regeneración y reutilización de aguas suele ser mejor si va acompañada de un intercambio y transferencia de aguas entre las partes (ciudades, agricultura y medio ambiente). Las características físicas y geográficas del área deben permitir esta transferencia de agua. Cuando se supone la existencia de un intercambio de derechos de agua, los derechos deben ser legalmente claros y *alienables*<sup>3</sup>. Cualquier costo de tratamiento e infraestructura adicional debe ser asequible en relación con los beneficios esperados. Los agricultores deben ofrecer su apoyo a la reutilización (e intercambio), ya que tendrá un impacto neto en sus ingresos y el estado de sus derechos sobre el agua dulce. Los impactos ambientales deben ser aceptables.

Es importante que las autoridades de salud pública estén convencidas de que los proyectos no representan riesgos indebidos y que se han tomado las precauciones necesarias. Hay normas nacionales y directrices internacionales, como las promulgadas por la OMS y la FAO, que pueden servir como guía para la utilización de las aguas regeneradas en agricultura. Como indicado anteriormente, dependiendo de las circunstancias, las opciones para la protección sanitaria incluyen tratamiento de las aguas residuales, restricción de ciertos cultivos, la adaptación de técnicas de riego y tiempo de aplicación, además del control de la exposición humana en toda la cadena “del campo a la mesa”.

La viabilidad financiera de los sistemas de reutilización es un complemento necesario para el análisis económico. La posición estratégica de la metodología económica descrita en este informe es la búsqueda del interés *nacional*<sup>4</sup>: si un proyecto tiene los suficientes beneficios netos en términos socioeconómicos a nivel nacional, se considera justificado. Sin embargo, esta es una condición necesaria pero no suficiente para implementarlo, dado que las partes interesadas clave que participan en el proyecto deben estar convencidas de que serán beneficiarios netos. Una parte esencial para reforzar los argumentos de la reutilización consiste en conocer los costos y beneficios financieros *específicos de cada parte*. Es decir, es necesario incluir un análisis del impacto del proyecto en la situación financiera de las partes interesadas clave, lo que incluye el gobierno central y municipal, juntas de recursos hídricos regionales, servicios públicos, agricultores y otras partes interesadas. Debe identificar quiénes son los principales beneficiados y perjudicados, con una estimación de sus ganancias o pérdidas. Además debe contener una estimación de las implicaciones financieras del proyecto en relación con el capital público y el presupuesto ordinario. Esta parte del análisis ofrece una base para comprender los incentivos de las partes interesadas, incluyendo a los agricultores, para que apoyen o se resistan al proyecto.

<sup>3</sup> Posible de ser intercambiado, por ej., que se puede comprar y vender, entre diferentes partes, de acuerdo con los sistemas legales locales.

<sup>4</sup> El cual para muchos propósitos, aunque no para todos, coincidirá con el de la región o cuenca hidrográfica.

Cuando los beneficios totales del proyecto son mayores que los costos totales, pero no todas las partes son beneficiarios netos, se hace necesaria la existencia de transferencias financieras entre las partes y otros instrumentos financieros que creen condiciones para que el proyecto sea aceptable para sus principales participantes. Esto puede incluir penalizaciones (por ejemplo, cobro por el uso de agua, impuestos por contaminación u otros cobros) o incentivos (por ejemplo, subsidios y mecanismos financieros innovadores, como pago a agricultores por servicios ambientales<sup>5</sup>). La arquitectura financiera del proyecto que resulta de este análisis influirá en la financiación del proyecto, por ejemplo, si se deben buscar subsidios nacionales o internacionales, hasta qué punto puede autofinanciarse o si es viable la financiación comercial o capital de riesgo<sup>6</sup>.

## **6.5. SENSIBILIZACIÓN DE LA OPINIÓN PÚBLICA**

La reutilización depende de la aceptación del público, la cual a su vez depende de la sensibilización y la comprensión de los temas en cuestión. En cada contexto y cultura, las “aguas residuales” tienen una connotación y una resonancia que debe ser abordada de manera diferente. Los problemas de salud pública y los consumidores deben ser abordados de forma transparente, mediante las directrices y procedimientos descritos en este informe. Los grupos y todas las comunidades afectadas por los sistemas de reutilización de agua deben participar en la toma de decisiones y en el proceso de planificación.

Los temas hídricos están siendo parte de la agenda pública, especialmente en el contexto de adaptación al cambio climático. Los cuestionamientos acerca de la sostenibilidad de las actuales tendencias en urbanización, calidad del agua, estrés ambiental y necesidades de producción de alimentos a futuro, entre otros temas, están llevando a reconsiderar de manera radical el suministro de agua, uso y sistemas de eliminación<sup>7</sup>. El costo de estrés y déficit hídrico, por un lado, y el valor y limitaciones de las respuestas tradicionales, por el otro, son los impulsores clave del nuevo interés que existe en la regeneración. Las aguas residuales, que pasaron de ser un elemento de desecho del ciclo del agua, del cual no se hablaba y que no estaba de moda, emergen ahora como un vínculo clave en la GIRH.

---

<sup>5</sup> Como lo describe la FAO (2007).

<sup>6</sup> Un creciente número de proyectos de reutilización se financian a través de vías comerciales, las que incluyen asociaciones público-privadas, aunque éstas tienden a existir para usos industriales y urbanos no potables.

<sup>7</sup> Por ejemplo, en el programa TECHNEAU del Proyecto SAFIR de la Comisión Europea, DG Investigación.

# Referencias

## CAPÍTULO 1

- Angelakis, A. N., B. Durham. 2008. Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges. *Desalination*, 218 (2008): 3-8.
- AQUAREC. Salgot, M; Huertas, E. (eds). 2006. Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater. EVK1-CT-2002-00130 EU funded project. Work Package 2: Guideline for quality standards for water reuse in Europe. University of Barcelona.
- Asano, T.; Burton, F.L.; Leverenz, H.L.; Tsuchihashi, R.; Tchobanoglous, G. 2007. Water reuse. Issues, technologies, and applications. Metcalf & Eddy / AECOM. McGraw-Hill, New York.
- Bahri, A. 2009. Managing the other side of the water cycle: making wastewater an asset. TEC Background Paper N° 13. Global Water Partnership, Stockholm.
- California State Water Resources Control Board. 1990. California Municipal Wastewater Reclamation in 1987. Sacramento, California.
- Dublin Statement. 1992. Dublin Statement on Water and Sustainable Development. International Conference on Water and the Environment, Dublin.
- EarthTrends. 2001. Annual Renewable Water Supply Per Person by River Basin, 1995, EarthTrends: The Environmental Information Portal, World Resources Institute. Available at [http://earthtrends.wri.org/maps\\_spatial/maps\\_detail\\_static.php?map\\_select=264&theme=2](http://earthtrends.wri.org/maps_spatial/maps_detail_static.php?map_select=264&theme=2) (descargado 2 December 2008).
- Falkenmark, M., C. Widstrand. 1992. Population and water resources: A delicate balance. *Population Bulletin, Population Reference Bureau*, 47(3), 1-36.
- FAO. 2008. AQUASTAT, FAO's Information System on Water and Agriculture. (Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/globalmaps/index.stm> descargado 2 December 2008).
- FAO. 2004. Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. FAO Water Reports 27. FAO, Rome.
- FAO. 2002. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, FAO, Rome.
- FAO. 2008. Water at a Glance: The relationship between water, agriculture, food security and poverty. Rome, FAO. (Disponible en <http://www.fao.org/nr/water/docs/waterataglance.pdf>, descargado 23 November 2008).
- FAO. 2009. Water resource allocation strategies: opportunities for wastewater reuse in agriculture. Conference paper for Malta Water Resources Authority. FAO, Rome.
- Gittinger, J. P. 1982. Economic Analysis of Agricultural Projects, Second Edition. *The Johns Hopkins University Press*, Baltimore, Maryland. Published for the Economic Development Institute of the World Bank. Also published in Indonesia under the title *Analisa Ekonomi Proyek-Proyek Pertanian*, in France as *Analyse économique des projets agricoles*, and in Spain as *Análisis económico de proyectos agrícolas*.
- Hamdy, A. 2004. Non-conventional water resources: salinity and saline irrigation practices and management. WASAMED meeting, Cairo.
- Jiménez, B., T. Asano (eds.) 2008a. Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. *IWA Publishing*, London.
- Jiménez, B., T. Asano. 2008b. Water reclamation and reuse around the world, Capítulo 1, in B. Jiménez and T. Asano (eds.), Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. *IWA Publishing*, London.
- Kumar, M.D.; Singh, O.P. 2005. Virtual water in global food and water policy making: is there a need for rethinking. *Water Resources Management*, 19: 759-789.
- Lahnsteiner, J.; Lempert, G. 2007. Water management in Windhoek, Namibia. *Water Science & Technology*. 55 (1-2): 441-448.
- Lazarova, V., and A. Bahri (eds.) 2005. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass. *CRC Press*, Boca Raton, Florida, USA.

- Lazarova, V., and A. Bahri. 2008. "Water reuse practices for agriculture", Capítulo 10, in B. Jiménez and T. Asano (eds.), *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*. IWA Publishing, London.
- McCann, B. 2005. Shared resources in the Middle East. *Water* 21, August 2005: 16-19.
- Mujeriego, R. (ed.) 1990. *Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada*, Edicions de la Universitat Politécnica de Catalunya, Barcelona (Traducción al español por Pettygrove and Asano, 1985).
- Okun, D.A. 2002. Water reuse introduces the need to integrate both water supply and wastewater management at local and regulatory level. *Water Science & Technology*. 46 (6-7): 273-280.
- Oron, G. 1987. Marginal-water application in arid zones. *GeoJournal*. 15 (3): 259-266.
- Orr, S, A. Cartwright, D. Tickner. 2009. Understanding water risks. A primer on the consequences of water scarcity for government and business. WorldWide Fund for Nature, Godalming, UK.
- Peasey, A., U. Blumenthal, D. Mara, G. Ruiz-Palacios. 2000. A review of policy and standards for wastewater reuse in agriculture: a Latin American perspective. WELL Study, WEDC, University of Loughborough, UK (Disponible en <http://www.lboro.ac.uk/well/>.)
- Pettygrove, G. S., T. Asano (eds.). 1985. *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan (publicado originalmente bajo el mismo título en Report N° 84-1 por California State Water Resources Control Board, Sacramento, California, 1984).
- Salgot, M.; Angelakis, A.N. 2001. Guidelines and regulations on wastewater reuse. Chapter 23 in *Decentralised Sanitation and Reuse. Concepts, systems and Implementation*. IWA Publishing.
- Salgot, M.; Huertas, E.; Weber, S.; Dott, W.; Hollender, J. 2006. Wastewater reuse and risk: definition of key objectives. *Desalination* 187: 29-40.
- Smakhtin, V.; Revenga, C.; Döll, P. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water Environment & Technology* 29 (3): 307-317.
- Sorgini, L. 2007. Water reuse. An evaluation of the technologies and their benefits. *Water Environment & Technology*, 19 (8): 54-59.
- Tamas, P. 2003. Water resources scarcity and conflict: Review of applicable indicators and systems of reference. IHP-VI/Technical Documents in Hydrology/PC-CP Series/No. 21, UNESCO / IHP / WWAP, Paris.
- Trondalen, J.M. 2004. Growing controversy over "wise international water governance". *Water Science & Technology*. 49 (7): 61-66.
- WELL (undated). Wastewater treatment options. Informe Técnico No 64 produced by Water and Environmental Health at London and Loughborough (WELL).
- WHO 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Informe tecnico serie N° 778. World Health Organization, Geneva.
- WHO 1993, Codex Alimentarius - Guidelines for the application of the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System. Alinorm 93/13A. Appendix II. WHO, Geneva.
- WHO 2006. WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. 3<sup>rd</sup> ed. Vol. 2: Wastewater use in agriculture. World Health Organization, Geneva.
- Winpenny, J. 1997. Sustainable management of water resources: an economic view. Capítulo de Auty R.M and K. Brown (eds.) *Approaches to sustainable development*. Pinter, London & Washington.
- World Bank. 2004. Towards a water-secure Kenya. Water Resources Sector memorandum, Report 28398-KE. World Bank, Washington DC.
- World Bank. 2009. Development and climate change. Advance Overview of the 2010 World Development Report. World Bank, Washington, DC.
- World Economic Forum 2009. The bubble is close to bursting: a forecast of the main economic and geopolitical water issues likely to arise in the world during the next two decades. World Economic Forum, Geneva.

## CAPÍTULO 2

- Jiménez Cisneros, B., M. Mazari, R. Domínguez and E. Cifuentes. 2004a. Water in the Valley of Mexico. The Water in Mexico as Seen by the Academy, Mexican Academy of Sciences, Mexico City, Mexico, pp. 15-32.
- Mexico, Poder Ejecutivo Federal 2004b. National Water Commission, *Water Statistics in Mexico, 2004* Edition, Mexico City, Mexico, 141 pp.



## CAPÍTULO 3

- FAO. 2004. Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. FAO Water Reports 27, Rome.
- FAO. 2006. Stakeholder-oriented valuation to support water resources management processes. FAO Water Reports 30. FAO, Rome.
- FAO. 2007. The state of food and agriculture 2007: Paying farmers for environmental services. FAO, Rome.
- Hussain, I, L.Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar, and W. van der Hoek. 2001. A framework for analysing socioeconomic, health and environmental impacts of wastewater use in agriculture in developing countries. Working paper 26. IWMI, Colombo.
- Hussain, I., L. Raschid, M.A. Hanjra, F. Marikar and W. van der Hoek. 2002. Wastewater use in agriculture. Review of impacts and methodological issues in valuing impacts. Working Paper 37. IWMI, Colombo.
- Molden, D. 2007. Water for food, water for life: a Comprehensive Assessment of water management in agriculture. International Water Management Institute and Earthscan, London.
- Molle, F & J. Berkoff. 2007. Irrigation water pricing: the gap between theory and practice. Published under the auspices of the International Water Management Institute. CABI, UK.
- OECD. 2009. Managing water for all: An OECD perspective on pricing and financing. pp 138-139. OECD, Paris.
- OECD. 1995. The economic appraisal of environmental projects and policies: a practical guide. OECD, Paris.
- UK Treasury. 2004. The Green Book: Appraisal and evaluation in Central Government. London.
- Van Beukering, P., M. van Drunen, K. Dorland, H. Jansen, E. Ozdemiroglu and D. Pearce. 1998. External economic benefits and costs in water and solid waste investments. Methodology, Guidelines and Case Studies. IVM Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.

## CAPÍTULO 4

Global Water Intelligence. 2009. Vol. 10 (10) Oct. p. 6. [www.globalwaterintel.com](http://www.globalwaterintel.com)

## CAPÍTULO 5

- Asano, T. 1998. Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library 10, CRC Press, Boca Raton, Florida (publicado originalmente por Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania), USA.
- Asano, T.; Burton, F.L.; Leverenz, H.L.; Tsuchihashi, R.; Tchobanoglous, G. 2007. Water reuse: Issues, technologies, and applications, Metcalf & Eddy / AECOM. McGraw-Hill, New York.
- FAO. 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rome.
- FAO. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome.
- Gittinger, J. P. 1982. Economic Analysis of Agricultural Projects, Second Edition. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland. Publicado por el Economic Development Institute of the World Bank. Publicado en España como Análisis económico de proyectos agrícolas.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2005a. Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2005b. Code of Practices for Health Protection. Capítulo 4. in Water Reuse for Irrigation: Agriculture, Landscapes, and Turf Grass, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Mara, D.D.; Sleigh, P.A.; Blumenthal, U.J.; Carr, R.M. 2007. Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analysis and epidemiological studies. *Journal of Water and Health* 5 (2): III-IV.
- Mills, R. A., and T. Asano. 1998. Planning and Analysis of Water Reuse Projects, Capítulo 2, in T. Asano, *Wastewater Reclamation and Reuse*, Water Quality Management Library 10, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Oron, G. 1987. Marginal water application in arid zones. *GeoJournal* 15 (3): 259-266
- Pettygrove, G. S., and T. Asano. 1985. *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan (originalmente publicado bajo el mismo título en Report N° 84-1 wr by California State Water Resources Control Board, Sacramento, California, 1984).



- State of California.** 2001. California Health Laws Related to Recycled Water, "The Purple Book": Excerpts from the Health and Safety Code, Water Code, and Titles 22 and 17 of the California Code of Regulations, California Department of Public Health, descargado on-line: <http://www.cdph.ca.gov/certlic/drinkingwater/Documents/Recharge/Purplebookupdate6-01.PDF>
- U.S.EPA and U.S.AID** 2004. Guidelines for water reuse. Report N° EPA/625/R-04/108. U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development, Washington, D.C.
- WASAMED meeting.** 2004. Non-conventional water resources: salinity and saline irrigation practices and management. Cairo.
- Wegner-Gwidt, J.** 1998. Public support and education for water reuse, Capítulo 31, en T. Asano (ed.), Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library 10, CRC Press, Boca Raton, Florida (publicado originalmente por Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania), USA.
- Westrell, T.; C. Schönning; T. A. Stenström; and N. J. Ashbolt.** 2003. QMRA and HACCP for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. Proceedings of the 4th international symposium on wastewater reclamation and reuse. Mexico City.
- World Health Organization.** 1993. Codex Alimentarius - Guidelines for the application of the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System. Alinorm 93/13A. Appendix II. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization.** 2006. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II: Wastewater use in agriculture, World Health Organization, Geneva.

## CAPÍTULO 6

- Global Water Intelligence.** 2009. Vol. 10 (10) Oct. p. 6. [www.globalwaterintel.com](http://www.globalwaterintel.com)
- Global Water Partnership.** 2009. *Managing the other side of the water cycle: making wastewater an asset.* TEC Background Paper N° 13, Stockholm.

# Anexo

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ADICIONALES

- Abu-Madi M., R. Al-Sa'ed, O. Braadbaart and G. Alaerts. 2007. Viability of Increasing the Tariff of Freshwater for Irrigation as a tool to Stimulate Wastewater Reuse in the MENA Region. 6th IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability: Guiding the growth of water reuse, October 9-12, Antwerp, Belgium. <http://www.wrrs2007.org>.
- Agència Catalana de l'Aigua. 2007. Implementation of the Water Framework Directive in Catalonia. Pressures and Impacts Analysis. Barcelona.
- Anderson J. 2002. The Environmental Benefits of water recycling and reuse. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, 26-29 September, Iraklio, Greece, 11-20.
- Andreu J., Rossi G., Vagliasindi F. and Vela A. 2006. Drought Management and Planning for Water Resources. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Angelakis, A.N., Marecos do Monte, M.H.F., Bontoux, L. and Asano, T. 1999. The status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: Need for guidelines, *Water Research*, 33, (10). *Elsevier*.
- Asano, T. Ed.. 1998. Wastewater Reclamation and Reuse, Vol. 10, Water Quality Management Library, Technomic Publishing Inc. Lancaster, PA USA.
- Asano, T. 1991. Planning and implementation for Water Reuse Projects. *Water Science and Technology*, 10, (9).
- Asano T., F.L. Burton, H.L. Leverenz, R. Tsuchihashi and G. Tchobanoglous. 2007: Water Reuse. Issues, Technologies, and Applications. New York.
- Aquarec. 2006. Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater. Handbook on feasibility studies for water reuse systems. Aachen; [www.aquarec.org](http://www.aquarec.org).
- Aquarec. 2006a. Integrated Concepts for Reuse of Upgraded Wastewater), Research project funded by the European Commission.Final Report. EVK1-CT-2002-00130. Luxembourg, <http://www.aquarec.org>.
- Aquarec. 2006b: Water reuse system management manuel. Project Report. EVK1-CT-2002-00130. Luxembourg.
- Aquarec. 2006c. Handbook on feasibility studies for water reuse systems (Workpage 4: Development o analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse), EVK1-CT-2002-00130. Luxembourg.
- Asim O. and S. Petrou. 2005. Valuing a QALY: a review of current controversies. *Expert Review of Pharmacoeconomics and Outcomes Research*. 5(6): 667-669.
- Australia. Natural Resource Management Ministerial Council. 2005. Environment Protection and Heritage Council, National Guidelines on Water Recycling - Managing Health and Environmental Risks - Impact Assessment, Sydney, Australia.
- Bate R.N. and W.R. Dubourg. 1997. A Net-back Analysis of Irrigation Water Demand in East Anglia. *Journal of Environmental Management*, 49, 311-322.
- Bazza M. 2002. Wastewater recycling and reuse in the near east region: Experiences and issues. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, 26-29 September, Iraklio, Greece, 44-59.
- Berbel J. 2005. Water pricing and irrigation: A review of the European Experience. Molle F. Berkhoff J. and Barker R. (Eds): Irrigation water pricing policy in context: Exploring the gap between theory and practice. Published by IWMI/CABI.
- Blumenthal, U. J., A. Peasey, G. Ruiz-Palacios, and D. D. Mara. 2000. Guidelines for Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture: Recommended Revisions Based on New Research Evidence, Task N° 68, Part 1, Loughborough University, Loughborough, United Kingdom.
- Borràs G., M. Soler and L. Sala. 2007. Summary of data concerning the quality of the reclaimed water produced at the Blanes Reclamation Plant (Costa Brava, Girona, Catalonia). Proceedings of the 6<sup>th</sup> IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability: Guiding the growth of water reuse. Antwerp, Belgium, October 9-12.

- Borràs G.** 2002. Water Reuse in Catalonia, Spain: The case of the Tordera Delta. Proceedings of the IWA Regional Symposium on Recycling in Mediterranean Region. Datzira, Iraklio, Greece, 26-29 September.
- Catalonian Water Agency.** 2006. Hidronomica convention. [http://www.mediambient.gencat.net/aca/en/agencia/dades\\_ec/recuperacio.jsp#tit3](http://www.mediambient.gencat.net/aca/en/agencia/dades_ec/recuperacio.jsp#tit3)
- Collado, J.** 2006a. Study to Produce a Proposal to Regulate the Annual Authorized Extraction Volumes of National Surface Waters in the San Juan River Basin, Final Report to North American Development Bank Contract N° 75170154, of a work performed for the [Mexican] National Water Commission, June, (2006a).
- Collado, J.** 2006b. Legal Characteristics of the National Waters in Mexico, XIX National Conference of Hydraulics, Cuernavaca, Morelos, Mexico, November (2006 b)
- Drechsel P, B. Keraita, P. Amoah, R.C. Abaidoo, L. Raschid-Sally and A. Bahri.** 2007. Reducing health risks from wastewater use in urban and peri-urban sub-Saharan Africa - Applying the 2006 WHO guidelines. 6th IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability: Guiding the growth of water reuse, October 9-12, Antwerp, Belgium. <http://www.wrrs2007.org>.
- Durham B. and M. Mierzejewski.** 2002. Water reuse and zero liquid discharge: A sustainable water resource solution. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26-29 September.
- European Commission DG ENV.** 2000. Papers on the valuation of mortality. Workshop convened by the European Commission. [http://www.europa.eu.int/cohm/environment/enveco/others/value\\_of\\_life.htm](http://www.europa.eu.int/cohm/environment/enveco/others/value_of_life.htm)
- FAO.** 1992. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47. Chapter 8. Rome.
- FAO.** 2003a. Unlocking the water potential of agriculture. Rome.
- FAO.** 2003b. World agriculture: towards 2015/2030. London, Earthscan Publications Ltd. London.
- FAO.** 2004. Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural management. FAO Water Reports N° 27. Rome.
- FAO.** 2006. Water desalination for agricultural applications. Proceedings of the FAO Expert Consultation on Water Desalination for Agricultural Applications, 26-27 2004, Rome.
- FAO.** 2007. The State of Food and Agriculture 2007. Paying farmers for environmental services. <http://www.fao.org/docrep/010/yr1200e/yr1200e00.HTM>.
- FAO.** 2007a. Agriculture and Water Scarcity: a Pragmatic Approach to Water Use Efficiency and Agricultural Productivity. Committee on Agriculture, Twentieth Session, COAG/2007/7, Rome, 25-28 April.
- Feitelson E. and Haddad M.** 2001. Management of shared groundwater resources: The Israeli-Palestine case with an international perspective. Boston, Dordrecht, London.
- Florida Reuse Coordinating Committee** 1996. Guidelines for preparation of reuse feasibility studies for consumptive use permit applicants. Issued by Florida Department of Environmental Protection, <http://www.dep.state.fl.us/water/reuse/docs/feasibility.pdf>.
- Griffin R.C.** 2006. Water Resource Economics. The Analysis of Scarcity, Policies and Projects. Cambridge and London.
- Heinz I.** 2004. How can the Water Framework Directive cost categories be made more feasible? *Economica delle fronti di energia e dell'ambiente*, N° 3, 47-57.
- Hernández F., A. Urkiaga, L. de las Fuentes, B. Bis, T. Koksís, B. Balasz and E. Chiru.** 2006. Handbook on feasibility studies for water reuse systems. Aquarec: Integrated concepts for reuse of upgraded wastewater. WP 4.
- Hidalgo, M.D. and Irusta, R.** 2004. *Reutilización de agua residual tratada de origen municipal en agricultura, VII Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid (Spain).*
- Jewell, W. J. and B. L. Seabrook.** 1979. A History of Land Application as a Treatment Alternative, U. S. Environmental Protection Agency, Technical Report MCD-40, Washington, D. C.
- Jimenez B. and A. Chavez.** 2004. Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: El Mezquital case. *Water Science and Technology* 50 (2): 269-273.
- Jiménez Cisneros, B., C. Siebe and E. Cifuentes.** 2004b. Intentional and Non-Intentional Water Reuse in the Tula Valley, in Jiménez, B. and L. Marín (Eds.) *The Water in Mexico as Seen by the Academy*, Mexican Academy of Sciences, Mexico City, Mexico, pp. 33-55. (En español).
- Kretschmer N., L. Ribbe and H. Gaese.** 2000. Wastewater reuse for agriculture. Technology Resource Management & Development – Scientific Contributions for Sustainable Development, Vol. 2, <http://www.google.de/search?hl=de&q=Kretschmer+Nicole+Wastewater+reuse+for+Agriculture&btnG=Google-Suche&meta=>

- Lazarova, V., and A. Bahri. 2008. Water reuse practices for agriculture, Capítulo 10. in B. Jiménez and T. Asano (eds.), *Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs*, IWA Publishing, London.
- MacDonald D.H. 2004. The economics of water: Taking full account of first use, reuse and return to the environment. CSIRO Land and Water Client Report for the Australian Water Conservation and Reuse Research Program (AWCRRP).
- Mancini, G., Sipala, S. and Vagliasindi, F.G.A. 2003. Criteria for marginal water treatment and reuse under drought conditions, International Workshop on Water Management under drought conditions, Valencia (Spain), 26-28 March.
- Mara, D.D.; Sleight, P.A.; Blumenthal, U.J.; Carr, R.M. 2007. Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analysis and epidemiological studies. *Journal of Water and Health* 5 (2): III-IV.
- Maria, A. 2003. The Costs of Water Pollution in India, Centre d'Économie Industrielle, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, France.
- Martínez Omaña, M. C., H. V. Libreros Muñoz, A. M. Quiñones Castillo, J. L. Montesillo Cedillo, R. I. López Hernández, and G. A. Ortiz Rendón. 2004c, *Water Management at the Federal District: Challenges and Proposals*, National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mexico.
- Molle F. and J. Berkhoff. 2006. Cities versus Agriculture: Revisiting Intersectorial Water Transfers, Potential Gains and Conflicts. Research Report 10. International Water Management Institute IWMI, Colombo. [http://www.idrc.ca/en/ev-97317-201-1-DO\\_TOPIC.html](http://www.idrc.ca/en/ev-97317-201-1-DO_TOPIC.html).
- Moss J., G. Wolff, G. Gladden, E. Guttierrez. 2003. Valuing water for better governance. How to promote dialogue to balance social, environmental, and economic values? White Paper sponsored by CEO PANEL **Business and Industry**. 2003. Prepared for the Third World Water Forum in Osaka, Japan, March 2003. <http://www.ceopanel.org>.
- Muñoz J. and L. Sala. 2007. Environmental criteria for alternative removal in treated wastewater. Proceedings of the 6<sup>th</sup> IWA Specialist Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability: Guiding the growth of water reuse. October 9-12, Antwerp, Belgium. <http://www.wrrs2007.org>.
- Mujeriego, R. 1990. Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona (Spanish translation of Pettygrove and Asano, 1985).
- Mushkin S.J. and D. W. Dunlop. 1979. Health: What is it worth? Measures of Health Benefits. New York.
- OECD. 1999. The Price of Water: Trends in OECD Countries. Paris.
- OECD. 1994. Managing the environment: the role of economic instruments. Paris.
- Onkal, G. and Demir, I. 2006. Cost analysis of alternative methods for wastewater handling in small communities. *Journal of Environmental Management*, 79: 357-363.
- Perló Cohen, M. and A. E. González Reynoso. 2005. War for Water in the Valley of Mexico?: Study Over the Hydraulic Relationships Between the Federal District and the State of Mexico, National Autonomous University of Mexico and Friedrich Ebert Stiftung, Mexico City, 2005. (en español).
- Renzetti S. 2003. Full Cost Accounting for Water Supply and Sewage Treatment: A Case Study of the Niagara Region, Canada, World Bank's Water Resources Management Group on Economic Instrument, <http://worldbank.org>.
- Richard, D. 1998. The cost of wastewater reclamation and reuse, Capítulo 29. in T. Asano (ed.), *Wastewater Reclamation and Reuse*, Water Quality Management Library 10, CRC Press, Boca Raton, Florida (publicado originalmente por Technomic Publishing, Lancaster, Pennsylvania), USA.
- 4<sup>th</sup> World Water Forum. 2006. Water Management for Food and the Environment: Increasing Green and Blue Water Productivity to Balance Water for Food and Environment. Framework Theme 4: Water Management for Food and the Environment, Mexico City, Mexico, March 2006, 16 pp.
- Sala L. and M. Serra. 2004. Towards sustainability in water recycling. *Water Sciences and Technology* Vol. 50, N° 2, 1-7.
- Seguí, L. 2004. Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales. Metodología para el Análisis Técnico-Económico y Casos. Tesis Doctoral. Universidad Politècnica de Catalunya.
- Shuval H. I., A. Adin, B. Fattal, E. Rawitz and P. Yekutieli. 1986. Wastewater Irrigation in Developing Countries: Health Effects and Technical Solutions, UNPD Project Management Report Number 6, World Bank Technical Paper Number 51, Washington, D. C.
- Sipala S., G. Mancini and F.G.A. Vagliasindi. 2002. Development of a web-based tool for the calculation of costs of different wastewater treatment and reuse scenarios. IWA Regional Symposium on Water Recycling in Mediterranean Region, Iraklio, Greece, 26-29 September.
- Snell, M. 1997. Cost-benefit analysis for engineers and planners. Thomas Telford, London.

- Spulber N. and Sabbaghi A.** 1998. *Economics of Water Resources: From Regulation to Privatization*. Dordrecht, London.
- State of California.** 1978. Wastewater reclamation criteria. California Administrative code, Title 22, Division A, Environmental Health. Department of Health Services. California.
- Swierc, J.; Page, D.; van Leeuwen, J.; Dillon, P.** 2005. Preliminary hazard analysis and critical control points plan (HACCP) - Salisbury stormwater to drinking water aquifer storage transfer and recovery (ASTR) Project. Land and water technical report N° 20/05, CSIRO, Adelaide.
- Tortajada C. and E. Castelán.** 2003. Water Management for a Megacity: Mexico City Metropolitan Area. Royal Swedish Academy of Sciences, Ambio, 32,2, 124-129.
- UNDP.** 2006. Who Has Access to Water? Case Study of Mexico City Metropolitan Area, Human Development Report 2006, Human Development Report Office Occasional Paper, United Nations Development Programme, New York.
- U.S.Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development.** 1992. Guidelines for water reuse. Report N° EPA/625/R-92/004). EPA, Washington, D.C.
- U.S.Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development.** 2004. Guidelines for water reuse. Report N° EPA/625/R-04/108, 2<sup>nd</sup> edition. EPA, Washington, D.C.
- U.S.Environmental Protection Agency.** 2006. Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents, Technical Report EPA/625/R-06/016, Washington, D.C.
- UNESCO.** 2006. Water: A Shared Responsibility. The United Nations World Water Development Report 2, Berhahn Books, New York.
- UN Millennium Project.** 2005. Health, Dignity, and Development: What Will it Take? Earthscan, London.
- UNSD.** 2007. System of Environmental-Economic Accounting for Water, Final Draft, March, 2007.
- Van Beukering, P., M. van Drunen, K.Dorland, H. Jansen, E. Ozdemiroglu and D. Pearce.** 1998. External economic benefits and costs in water and solid waste investments. Methodology, Guidelines and Case Studies. IVM Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Westrell,T.; Schönning,C.; Stenström,T.A.; Ashbolt,N.J.** 2003. QMRA and HACCP for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. Proceedings of the 4th international symposium on wastewater reclamation and reuse. Mexico City.
- WHO.** 2004. Guidelines for drinking water quality, 3<sup>rd</sup> ed. Geneva.
- WHO.** 2006. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume II: Wastewater use in agriculture. Geneva.
- World Bank, Agriculture for Development.** 2007. World Development Report 2008, Washington, D. C.
- WHO.** Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume II: Wastewater Use In Agriculture, Geneva, Switzerland, 196 pp. + xxiii.
- World Water Council.** 2006. Task Force on Financing Water for All, Report 1: Enhancing Access to Finance for Local Governments, Financing Water for Agriculture. World Water Council, Marseilles, France.
- DOCUMENTOS OFICIALES RELACIONADOS CON LOS ESTUDIOS DE CASO DE MÉXICO.**
- Mexico. Federal District Executive Power, Master Plan of Potable Water for the Federal District 1997-2010, Mexico City, Mexico, July, 1997a. (En español).
- Mexico. Federal District Executive Power, Regulations of Water and Drainage Service for the Federal District, Mexico City, Mexico, October, 1997b. (En español).
- Mexico. Federal District Executive Power. General Direction of Hydraulic Construction and Operation, Compendium of the Water Situation in the Federal District, Mexico City, Mexico, 1998a. (En español).
- Mexico. Federal District Executive Power. Environmental and Territorial Ordering Attorney General of the Federal District, Annual Report 2003: Water, Mexico City, Mexico, May, 2004a, 28 pp. (En español).
- Mexico. Federal District Executive Power, General Development Plan 2007-2012, Mexico City, Mexico, January, 2007, 80 pp. + xxxii. (En español).
- Mexico. Federal District Legislative Assembly. Financial Code of the Federal District 2007, Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, December 31, 2006a, 393 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Institute of Statistics, Geography and Informatics, Good Production Activities, Economical Census 1999: Mining and Oil Extraction, Electricity, and Water Collection, Treatment and Supply, 2001a, Aguascalientes, Aguascalientes, Mexico, 373 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Institute of Statistics, Geography and Informatics, Economic and Ecological Accounting System 1999-2004, 2006b, Aguascalientes, Aguascalientes, Mexico, 166 pp. (En español).



- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Surface Water Availability in Panuco River Basin, Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, October 26, 1998b, 3 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Water Cost, Value and Price in Mexico, National Water Commission, Javier Barros Sierra Foundation and Technological Autonomous Institute of Mexico, Mexico City, Mexico, 2000, 232 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Determination of the Ground Water Availability if the Guadiana Valley Aquifer, State of Durango, Mexico City, Mexico, 2002, 29 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Budget Self-Sufficiency Fees for Irrigation Districts 2000-2002, Mexico City, Mexico, 2003a, 349 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Ground Water Availability in 188 Aquifers, Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, January 31, 2003b, 113 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Basic Compendium of Water 2004: Regional Office XIII, Mexico City Valley and Cutzamala System Waters, Mexico City, Mexico, 2004c, 149 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Situation of the Potable Water, Sewage and Sanitation Subsector as of December 2003, Mexico City, Mexico, 2004d, 159 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, National Inventory of Municipal Potabilization and Treatment Plants in Operation, 2005 Edition, Mexico City, Mexico, 2005a, 237 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Directive Plan for the Integral Modernization of Irrigation District 003 Tula, Mexico City, Mexico, 2005b, 329 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Cost-Benefit Analysis of the Integral Modernization of Irrigation District 003 Tula, Mexico City, Mexico, 2005c, 127 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Directive Plan for the Integral Modernization of Irrigation District 011 Alto Río Lerma, Mexico City, Mexico, 2005d, 329 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Cost-Benefit Analysis of the Rehabilitation and Modernization Program of Irrigation District 011 Alto Río Lerma, Mexico City, Mexico, 2005e, 78 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Water Statistics in Mexico, 2005 Edition, Mexico City, Mexico, 2005f, 104 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Statistics on Water 2005: Waters of the Valley of Mexico and the Cutzamala System, Regional Office XIII, Mexico City, Mexico, 2005g, 110 pp.
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Water Statistics in Mexico, 2006 Edition, Mexico City, Mexico, 2006c, 198 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Agricultural Statistics in Irrigation Districts, 2004-2005 Edition, Mexico City, Mexico, 2006d, 413 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Wastewater Management in Metropolitan Mexico City and its Contribution to the Development of Mexico and Tula Valleys, Local Action LA1703, presented in Session FT1.02 Wastewater Management to Fight Poverty, World Water Forum IV, Mexico City, Mexico, 2006e, 14 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Water Management in Mexico: Advances and Challenges 2006, Mexico City, Mexico, 2006f, 249 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Director Plan for the Integral Modernization of Irrigation District 011 Alto Río Lerma, Mexico City, Mexico, 2006g, 231 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Cost-Benefit Analysis for the Integral Modernization of Irrigation District 011 Alto Río Lerma, Mexico City, Mexico, 2006h, 127 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Agricultural and Water Use Statistics in Irrigation Districts, 1990-2006, Mexico City, Mexico, 2007b. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Agricultural Statistics in Irrigation Units, 2004-2005, Mexico City, Mexico, 2007c, 514 pp. + viii. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Water Statistics in Mexico, 2007 Edition, Mexico City, Mexico, 2007d, 257 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Directive Plan for the Integral Modernization of Irrigation District 052 State of Durango, Mexico City, Mexico, 2007e, 129 pp. (In preparation). (En español).

- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission, Cost-Benefit Analysis of the Integral Modernization of Irrigation District 052 State of Durango, Mexico City, Mexico, 2007f, 127 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. National Water Commission and Mexican Institute of Water Technology, Indicators of Industrial Water Use: Food Industry, National Water Commission and Mexican Institute of Water Technology, Mexico City, Mexico, 2001b, 129 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. Environmental, Natural Resources and Fishing Secretary, NOM-001-ECOL-1996, Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, June 24, 1996, 33 pp. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. Environmental, Natural Resources and Fishing Secretary and National Institute of Ecology, Third National Communication to the Parts of the United Nations Framework Convention on Climate Change, Mexico City, Mexico, October, 2006i, 208 pp. + xl. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. Agriculture, Cattle Raising, Rural Development. Fishing and Nourishment Secretary, Operating Rules for the Water Use Rights Acquisition Program, Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, August 12, 2003c, pp. 47-56. (En español).
- Mexico. Federal Executive Power. Environmental, Natural Resources and Fishing Secretary, Technical Studies to Determine the Surface Water Availability in the Pánuco River Basin, Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, October 26, 1998c, pp. 7-9. (En español).
- Mexico. Federal Legislative Power, Decree from which there are Reformed, Added and Abolished Diverse Dispositions to the National Waters Law, Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, April 29, 2004d, pp. 27-98. (En español).
- Mexico. Federal Legislative Power, Federal Law of Rights 2007 (Applicable Dispositions to National Waters), Official Federation Diary, Mexico City, Mexico, December 27, 2006j, 70 pp. (En español).
- Mexico. Municipal Executive Power of Durango, Public Services Regulations for the Durango Municipality, Municipal Resolution N° 289, Durango City, Durango, Mexico, November, 1997c, 53 pp. (En español).
- Mexico. Municipal Executive Power of Durango, Public Services Regulations for the Durango Municipality, Municipal Resolution N° 8694, Durango City, Durango, Mexico, Durango Municipal Gazette N° 146, August 19, 2005h, 42 pp. (En español).
- Mexico. State Legislative Power of Durango, Income Law for Durango Municipality, Durango, in the Fiscal Year 2007, Decree N° 384, Official Diary of the State of Durango N° 49, Durango City, Durango, Mexico, June 21, 2007g, 139 pp. (En español).
- Mexico. Municipal Executive Power of Guanajuato, By-Laws of the Municipal System of Potable Water and Sewerage of Guanajuato Municipality (SIMAPAG), Official Diary of the State of Guanajuato, Year LXXXVIII, Volume CXXXIX, N° 41, Resolution 4897, May 22, 2001c, 36 pp. (En español).
- Mexico. Municipal Executive Power of Guanajuato, Planning By-Laws for the Integral Development of Guanajuato Municipality, Official Diary of the State of Guanajuato, Year LXXXVIII, Volume CXXXIX, N° 72, Resolution 20, September 7, 2001d, 11 pp. (En español).
- Mexico. State Legislative Power of Guanajuato, Income Law for Guanajuato Municipality, Guanajuato, in the Fiscal Year 2007, Decree N° 17, Official Diary of the State of Guanajuato, Year XCIII, Volume CXLIV, N° 202, Guanajuato City, Guanajuato, Mexico, December 19, 2006k, pp. 99-158. (En español).
- Mexico. State Executive Power of Guanajuato. Guanajuato State Water Commission (CEAG). Municipality of Guanajuato City. Municipal System of Potable Water and Sewerage (SIMAPAG), Sectorial Diagnosis of Potable Water and Sanitation 2000-2005, Guanajuato City, Guanajuato, Mexico, 2007h, 2 pp. (En español).

**Alfabetas Artes Gráficas**

Carmen 1985 - Fono: 2364 9242

Santiago - Chile



En los últimos tiempos, la unión de distintos factores, tales como el crecimiento de la población, el aumento de la urbanización, la extracción de agua para su uso en agricultura, las sequías, y el deterioro de la calidad del agua, han supuesto una mayor presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial. El nivel de extracción de agua está alcanzando los límites naturales, con lo cual es necesario efectuar un drástico cambio en los conceptos convencionales de su utilización: la “sociedad lineal” ha dejado de ser una solución sostenible y la “sociedad del reciclaje” debe convertirse en el nuevo paradigma. En relación con lo anterior, la regeneración y reutilización planificada del agua para usos agrícolas es una estrategia que ha ido ganando aceptación en muchas partes del mundo.

Este informe de la FAO aborda los temas económicos y financieros y la metodología y procedimientos utilizados en el análisis de los proyectos de reutilización de agua, como parte de un proceso integral de planificación hídrica. El tema se aborda dentro del contexto más amplio de la gestión de recursos hídricos, que abarca la salud humana, calidad del agua, aceptabilidad, restricciones institucionales y otros factores que tienen implicaciones económicas y afectan la viabilidad de los proyectos de reutilización. El informe se centra principalmente en los factores que contribuyen al éxito de los proyectos de reutilización a partir de casos de estudio en España y México.

La reutilización de aguas es un elemento clave en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH), que puede cumplir objetivos diferentes, pero que se relacionan entre sí. La reutilización puede tener beneficios simultáneos para los agricultores, las ciudades y el medio ambiente, y es parte de la solución a los urgentes problemas globales de seguridad alimentaria, de agua limpia y de vertido seguro de las aguas residuales, además de la protección de ecosistemas acuáticos vitales.

ISBN 978-92-5-306578-3 ISSN 1020-1556



9 789253 065783

11629S/1/12.12