

# EL RECICLAJE DE AGUAS GRISES COMO COMPLEMENTO A LAS ESTRATEGIAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN EL MEDIO RURAL

**JOAQUÍN SUÁREZ LÓPEZ**  
**ALFREDO JÁCOME BURGOS**  
**HÉCTOR DEL RÍO CAMBESES**  
**DANIEL TORRES SÁNCHEZ**  
**PABLO URES RODRÍGUEZ**

## 1. INTRODUCCIÓN

En el texto que a continuación se desarrolla se analizan y se valoran las posibilidades que tiene el aprovechamiento de las aguas grises en el medio rural, sobre todo en viviendas unifamiliares. Este tipo de viviendas, en la mayoría de los casos, ya contemplan soluciones de abastecimiento y saneamiento autónomo. La optimización de los usos del agua permite disminuir la problemática asociada, sobre todo, a la gestión y disposición final de las aguas residuales generadas.

El aprovechamiento de aguas pluviales o el uso de aguas residuales regeneradas son también posibilidades que deben contemplarse, ya que son fuentes complementarias de recurso, y deben ser estudiados de forma integrada en una estrategia de gestión sostenible del agua en la vivienda, pero no serán analizadas en este capítulo.

El uso prudente y eficiente del agua es una cuestión que la actual política europea potencia. Actualmente se formulan o aplican distintas políticas y mecanismos para asegurar el uso sostenible del agua a largo plazo. La Directiva Marco del Agua ha establecido las metas y objetivos que deben alcanzarse para continuar acercándonos a un verdadero modelo sostenible de gestión del agua.

En el pasado, los esfuerzos para satisfacer el crecimiento de la demanda consistían principalmente en incrementar la oferta de recursos, que eran abundantes y relativamente baratos. Hoy en día las estrategias de uso sostenible del agua se centran cada vez más en las posibilidades de influir en la demanda de agua de modo favorable para el medio acuático.

Algunos autores definen las siguientes cinco líneas básicas en la gestión de la demanda: ajustes de usos y calidades del agua, eficiencia en la distribución, ahorro voluntario, eficiencia en la utilización, y reciclaje y reutilización del agua.

Una política de ahorro de agua, además de preventiva en cuanto a la contaminación, obliga a la revisión de hábitos de consumo y costumbres, con sus correspondientes enseñanzas, para optimizar el aprovechamiento cuantitativo y cualitativo de este recurso por los distintos usuarios. Sin embargo, el ahorro que comportan los sistemas para la gestión eficaz del agua se produce no solo por el menor consumo de esta, sino por el menor consumo de energía que lleva asociado (por ejemplo, en los bombeos o en el combustible para poder calentarla). Además, se obtienen beneficios en la conservación del recurso y el medio natural; se evita su degradación, se eliminan los costes de la construcción de

nuevas infraestructuras y resulta más fácil el mantenimiento de las ya construidas.

Ya en 1958, el Consejo Económico y Social de la ONU propugnaba la política de no utilización de recursos de mayor calidad en usos que pueden tolerar calidades más bajas. Esta «máxima» es el fundamento del reciclaje de las aguas grises o de la reutilización de las aguas residuales regeneradas.

## 2. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS GRISES

### 2.1. Definición de aguas grises

El concepto *aguas grises* presenta diferentes definiciones, o matices, en función de la norma, referencia técnica u ordenanza que se revise. De forma genérica, se podría decir que aguas grises son aquellas aguas que no son «negras», es decir, aguas que no proceden del inodoro. Se trataría de aguas residuales que no presentan residuos fecales en cantidades significativas.

En la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid - ANM 2006\50 se definen aguas grises como «aguas residuales domésticas procedentes de lavabos, bañeras, duchas y lavadoras, quedando excluidas las de lavaplatos, fregaderos e inodoros». En algunos textos, sin embargo, figuran como aguas grises «las aguas que provienen de la cocina, del cuarto de baño, de los lavabos y de los fregaderos», o «las aguas generadas, normalmente en ámbito doméstico, por actividades tales como el lavado de utensilios y de ropa, así como el baño de las personas».

La *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios*, promovida por AQUA España, define *agua gris bruta* como aquella agua residual doméstica «procedente de duchas, bañeras y lavamanos», excluyendo específicamente

las aguas procedentes de cocinas, bidés, lavadoras, lavavajillas, procesos industriales o con productos químicos contaminantes, un elevado número de agentes patógenos o restos fecales.

Evidentemente, los tipos de contaminación que presentan las aguas residuales en función de su procedencia en el ámbito doméstico son muy diferentes, por lo que su posterior acumulación, tratamiento y regulación también serán diferentes.

Se podrían diferenciar, en una primera aproximación, tres tipos de aguas grises:

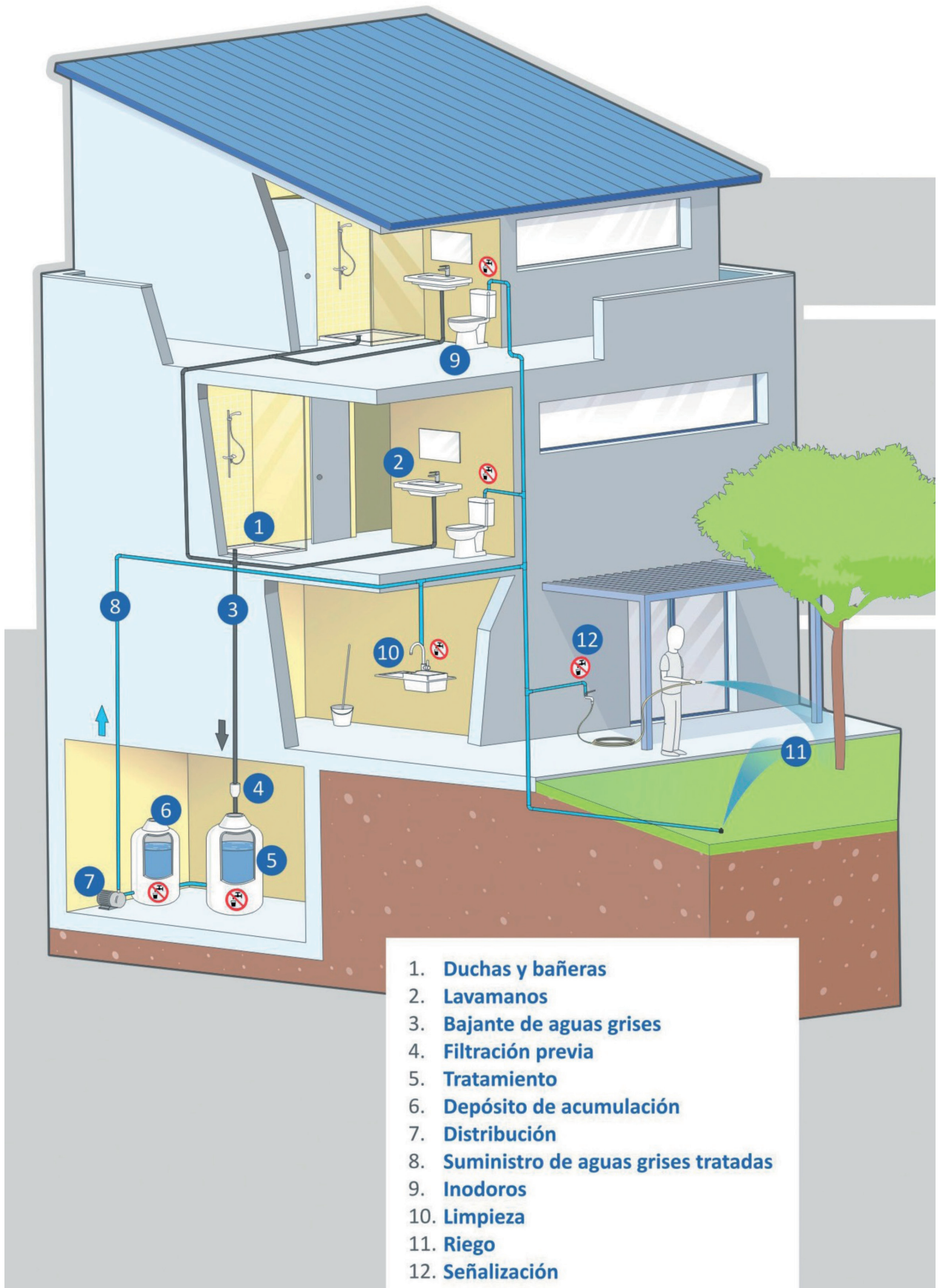
- Aguas grises del tipo 1 o aguas de baja carga: ducha, bañera y lavabo.
- Aguas grises del tipo 2 o aguas de media carga: lo anterior, más las procedentes de la lavadora.
- Aguas grises del tipo 3 o aguas de alta carga: lo anterior, más las procedentes del lavavajillas y el fregadero de cocina.

La normativa debe dejar muy claro el tipo de aguas residuales que se consideran grises.

El origen de los flujos no solo determina el tipo de sustancias (y energía) que lleve el agua, con lo cual condiciona la posterior estrategia de gestión, sino que también determina la cantidad y la disponibilidad de agua que debe reciclarse, ya que los ciclos de aportación son diferentes.

### 2.2. ¿Reutilización o reciclaje de aguas grises?

En España la norma que establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas es el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre. En él se aportan una serie de definiciones de términos de interés.



1. Duchas y bañeras
2. Lavamanos
3. Bajante de aguas grises
4. Filtración previa
5. Tratamiento
6. Depósito de acumulación
7. Distribución
8. Suministro de aguas grises tratadas
9. Inodoros
10. Limpieza
11. Riego
12. Señalización

Figura 1. Esquema básico de sistema de tratamiento de aguas grises en una vivienda unifamiliar (AQUA España, 2011)

- **Aguas depuradas:** aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su contaminación a la normativa de vertidos aplicable.

- **Aguas regeneradas:** aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan. A efectos del Real Decreto 1620/2007, uso de aguas regeneradas es equivalente a reutilización de aguas.

- **Reutilización:** la aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico, al marítimo terrestre así como a azarbes y elementos de desagüe, para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

El agua regenerada procede de aguas residuales urbanas que presentan toda la complejidad inherente a unas aguas residuales urbanas con un origen muy heterogéneo. La complejidad de la contaminación microbiológica y de sustancias es muy alta, por lo que la legislación de reutilización establecida fija un número de parámetros y unas estrategias de control acordes con el riesgo asociado a su uso.

Las aguas grises, por el contrario, no tienen asociada una complejidad tan alta como la de las aguas residuales urbanas, por lo que es muy importante no asociar de forma directa el Real Decreto 1620/2007 al uso de las aguas grises.

El término *reciclaje* parece más adecuado para el uso de las aguas grises tratadas en ámbito doméstico. Por agua reciclada se entiende el conjunto de aquellos caudales que, en una instalación, son conducidos de nuevo para ser utilizados en el mismo proceso o lugar en el que han sido utilizados anteriormente; es practicado habitualmente en industrias, y siempre en la misma instalación o por el mismo usuario.

### 2.3. Ventajas y oportunidad del reciclaje de aguas grises

Entre los beneficios que puede comportar el reciclaje de aguas grises se pueden citar los siguientes:

- Reducción de consumo de recursos convencionales, de alta calidad, que permite que sean liberados a usos más exigentes, o simplemente dejen de ser extraídos del medio natural.
- Disminución de los costes de tratamiento y de vertido de agua residual. El reciclaje de aguas grises ofrecerá una clara ventaja económica cuando los requisitos de calidad del

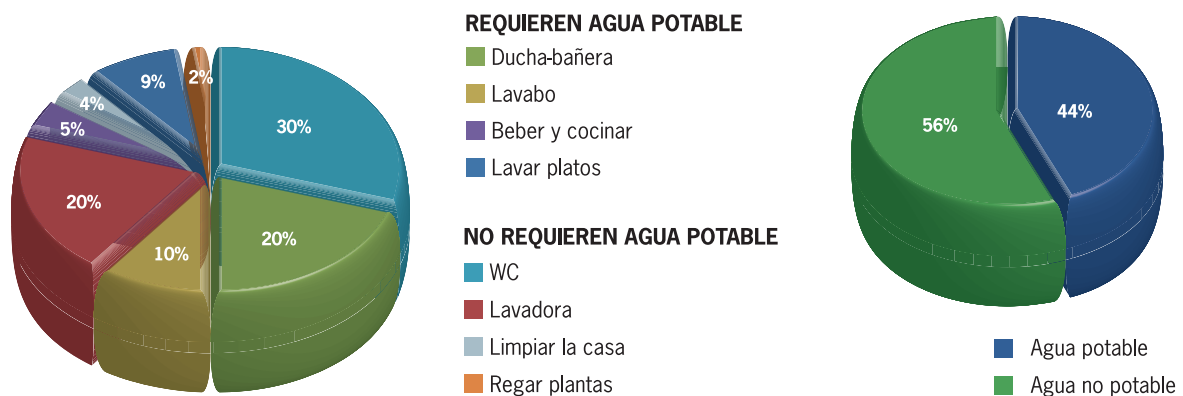


Figura 2. Análisis global de la calidad del agua necesaria en función de los usos

tipo de uso previsto sean menos exigentes que los establecidos por los objetivos de vertido del medio receptor.

- Una reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales de agua, en particular cuando el uso final del agua gris tratada es el riego agrícola o de jardinería. El riego permite que las sustancias orgánicas difíciles de mineralizar puedan ser degradadas biológicamente en el suelo, durante su infiltración a través del terreno, lo que ofrece la posibilidad de que sus componentes minerales sean posteriormente asimilados por las plantas.
- El aplazamiento, la reducción, o incluso la supresión, de ampliaciones o nuevas infraestructuras de distribución o de tratamiento de agua de abastecimiento.
- Un ahorro energético al transportar y tratar menores volúmenes de agua.

Las aguas grises, una vez tratadas, pueden tener múltiples ámbitos de aplicación: viviendas (unifamiliares o plurifamiliares), hoteles y residencias, polideportivos, industrias, grandes superficies, etc.

Los campos de aplicación de las aguas grises recicladas excluyen los usos del agua de consumo humano definidos en el Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Los usos más habituales de las aguas grises tratadas son:

- Residencial: cisternas de inodoros, riego de jardines privados, lavado doméstico de vehículos, limpieza de suelos y lavadoras especialmente diseñadas para operar con agua gris reciclada.
- Ámbito público (servicios urbanos): riego de zonas verdes urbanas, baldeo de pavimentos.

- Usos industriales.

Para valorar mejor los posibles usos del agua gris tratada se presentan en el siguiente gráfico los usos que no requieren agua potable en los usos domésticos habituales.

Se puede observar que más de la mitad del agua que se utiliza en las viviendas podría proceder de aguas grises tratadas. Evidentemente, no es la misma calidad la que necesita el agua de un inodoro que el agua de una lavadora, por lo que los sistemas de tratamiento y depuración deben diseñarse en función de los usos planificados.

Mediante estrategias de reciclaje de aguas grises que solo busquen aportar agua tratada a los inodoros, por ejemplo, es posible rebajar los consumos domésticos del orden de un 30 %. Esto significa un ahorro del orden de 11.000 l/hab./año; unos 30 m<sup>3</sup>/año en una vivienda.

Reciclar el 44 % del agua potable, junto con una cierta captación de aguas pluviales, permitiría evitar el consumo del 56 % del agua para uso doméstico, independientemente de que el usuario de la vivienda esté concienciado de reducir su consumo.

En las viviendas aisladas que tienen un sistema de saneamiento autónomo el ahorro de agua en los usos tiene incidencia directa en la cantidad de agua residual que deberá depurarse. De nuevo, el tipo de flujos que compongan las aguas grises tendrá una influencia determinante. Las cargas de contaminación que se envíen hacia el sistema de depuración convencional serán algo menores, y las principales aportaciones seguirán siendo de las aguas con residuos fecales, pero el volumen de agua por tratar sí que será menor.

Parte de la contaminación que se genera en la vivienda será eliminada en el tratamiento de las aguas grises y será degradada, pero otra parte, por ejemplo los fangos sedimen-



tados en posibles tratamientos de las aguas grises (como fangos decantados) serán finalmente enviados a la línea de depuración de las aguas residuales más cargadas.

Como consecuencia de la reducción del flujo de agua las cargas hidráulicas sobre los sistemas de depuración serán menores, lo que facilitará procesos de decantación, y las aguas que posteriormente habría que verter o infiltrar también serán menores. Esta última ventaja es de gran interés, ya que las superficies necesarias para infiltración son habitualmente muy grandes.

Por el contrario, debe tenerse en cuenta que los valores de las concentraciones de DBO y, sobre todo, las de nitrógeno amoniacal, van a ser muy elevadas, al no haber flujos de agua que los diluyan. Si bien la DBO, fundamentalmente particulada, puede ser retenida en los sistemas de decantación habituales en saneamiento autónomo (fosas sépticas y tanques Imhoff) el nitrógeno amoniacal saldrá en el efluente de estas primeras etapas y sobrecargará los posibles tratamientos secundarios (por ejemplo, un posible humedal artificial).

## 2.4. Caracterización de las aguas grises

### 2.4.1. Cantidad de aguas grises generadas en el hogar

La cantidad de agua gris generada en un hogar varía significativamente. Depende de factores socioeconómicos (nivel de vida, estructura demográfica, edad, sexo), del número de personas por vivienda, del tipo de suministro, de los hábitos de higiene, del control sobre el consumo, de la abundancia de agua, etc. El agua gris representa habitualmente el 65-100 % de las aguas residuales generadas en un hogar. La proporción depende principalmente del tipo de aseo empleado en el hogar. El caso extremo se produce si la vivienda utiliza una letrina seca, ya que la salida de aguas grises alcanza el 100 %.

La generación de aguas grises en una vivienda está directamente relacionada con los destinos que se da al agua de abastecimiento tradicional; asimismo, estos usos condicionan el posterior reciclaje. De la revisión de varias fuentes se puede conocer el destino del agua potable en una vivienda que no tiene dispositivos específicos para ahorro de agua:

Tabla 1. Consumos domésticos típicos

TIPO DE CONSUMO	L/HAB./DÍA
Bebida	2
Preparación de alimentos (cocina)	3
Cocinar y beber	5-8
Aseo personal diario (ni ducha ni baño)	10-20
Limpieza de casa, comprendida la vajilla	7-12
Inodoro	6-15 l descarga (35-45 l/hab./día) (actualmente, 9 máximo por norma)
Baños	150-300 l por baño
Duchas	50-80 l por ducha
Lavadora	50-150
Lavavajillas	20-40

Tabla 2. Ejemplo de consumo y ahorro de agua para un usuario medio, al año

	DUCHA	LAVABO	WC	TOTAL
<b>Duración del tiempo de consumo</b>	6 min	3 min	4 veces	
<b>Consumo</b>	18 l/min	14 l/min	10 l/min	
<b>Consumo diario aproximado de agua</b>	108 l	42 l	40 l	190
<b>Consumo anual</b>	39,42 m <sup>3</sup>	15,33 m <sup>3</sup>	14,6 m <sup>3</sup>	69,35 m <sup>3</sup>
<b>Energía necesaria para agua caliente</b>	1.182 kWh	460 kWh	0 kWh	1.642 kWh
<b>Coste medio del agua y energía</b>	154 €	61 €	16,05 €	231,05 €
<b>Ahorro medio</b>	50 %	50 %	50 %	
<b>Ahorro de agua y energía</b>	77 €	30,5 €	8 €	115,5

Estas fuentes de agua residual pueden adoptar los valores más bajos si en el hogar se incorporan sistemas de reducción de consumo y se mejoran los hábitos. En la tabla siguiente se muestran los ahorros que se pueden conseguir en consumo y en energía con una disminución del 50 % en los consumos.

Morel y Diener (2006) apuntan que en la literatura publicada se indica que el volumen típico de las aguas grises varía de 90 a 120 l/hab./día, pero que, sin embargo, el volumen de aguas grises en los países de bajos recursos con escasez de agua y formas simples de suministro de agua puede ser tan baja como 20 a 30 l/hab./día.

La *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios* considera los siguientes valores de producción de aguas grises (se consideran aguas grises las aguas procedentes de lavabos, duchas y bañeras):

Tabla 3. Producción de aguas grises (agua procedente de lavabos, duchas y bañeras) (AQUA España)

ORIGEN	PRODUCCIÓN ESTIMADA
Viviendas	50-100 l/persona/día
Hoteles	50-150 l/persona/día
Complejos deportivos	30-60 l/persona/día

En general, el aporte de aguas grises y el consumo de las aguas una vez tratadas son muy variables a lo largo del día. Por lo tanto, debe considerarse la instalación de un sistema de

almacenamiento que optimice su aprovechamiento, es decir, que incluso en horas de baja producción de agua gris se garantice el suministro de agua tratada.

A partir del balance hídrico se determinan los volúmenes de acumulación del agua bruta y de la tratada, así como los caudales y flujos de agua. El tiempo de residencia en los depósitos debe garantizar el suministro de agua reciclada reduciendo al máximo el aporte de agua de red.

#### 2.4.2. Contaminación de las aguas grises

Las aguas grises se generan como consecuencia de los hábitos de vida de las personas que las generan, de los productos utilizados, de la naturaleza de la instalación y de las aguas de abastecimiento y, por lo tanto, sus características son muy variables. Un factor clave en la contaminación que van a contener es la mezcla de flujos del hogar que finalmente se haga.

Existe una relación general entre la cantidad de aguas grises generadas y la contaminación del agua gris. Cuanta menos agua gris se genere en una casa, mayor es su concentración, al ser la carga contaminante diluida por un menor volumen de agua.

En general, las aguas grises pueden contener partículas de alimentos, aceite, grasa, fibras de tela, pelo, agentes patógenos, jabones,

detergentes, champús, dentífricos, cremas de afeitado, detergentes, aceites corporales, cosméticos, restos de arena y otros productos químicos; además pueden contener diferentes metales y sustancias peligrosas.

La temperatura de las aguas grises, por lo general, oscila entre 18-30 °C, que es, generalmente, un poco mayor que la temperatura de suministro de agua. La concentración de sólidos en suspensión suele oscilar entre 50-300 mg/l de forma general, y la punta de concentración provendrá de las aguas procedentes de cocina y lavandería. Una alta presencia de sólidos en suspensión puede llegar a causar obstrucción física en ciertas partes del sistema de tratamiento. Son frecuentes los atascamientos por fibras de tela, detergentes en polvo, jabones y partículas coloidales en las instalaciones de conducción y tratamiento.

Las aguas grises también contienen materiales disueltos, siendo la sal más habitual el cloruro sódico. La conductividad fluctúa normalmente en un rango de 300 a 1.500  $\mu\text{S/cm}$ . Una salinidad demasiado alta (superior a 1.300  $\mu\text{S/cm}$ ) conduce a problemas en el riego, ya que genera el inconveniente de la salinización del suelo; a pesar de ello, algunas plantas tolerantes a las sales pueden crecer en agua gris con alta salinidad.

El agua gris contiene menos nutrientes que las aguas residuales del inodoro. La cantidad de nutrientes determina su valor fertilizante para las plantas. Los valores de nitrógeno se sitúan habitualmente en el rango de 5-50 mg/l. La concentración de fósforo depende principalmente de los detergentes empleados en lavavajillas y lavadoras, que pueden contener sustancias con fósforo o no. En muchos países los detergentes con fósforo están prohibidos. Los valores de fósforo oscilan en el rango de 4-14 mg/l en aguas grises, cuando se usan detergentes sin fósforo, y 45-280 mg/l si se utilizan detergentes fosforados (Morel y Diener, p. 14, 2006).

El agua gris tiene menor contenido de patógenos que las aguas residuales del inodoro, pero aún podría comportar un riesgo para la salud, ya que es susceptible de contener diferentes virus patógenos, bacterias, protozoos y parásitos intestinales. Muchas autoridades de todo el mundo siguen viendo el agua gris como un riesgo para la salud. La principal fuente de estos agentes patógenos son las heces de personas infectadas que contaminan el agua gris al lavarse las manos después de usar el inodoro, así como lavar a los niños después de la defecación y el lavado de ropa posterior. El agua gris tiene, por lo tanto, mayor concentración de patógenos si hay bebés y niños pequeños en un hogar. Lavar la carne cruda y vegetales crudos también puede contaminar el agua gris con agentes patógenos. El promedio de concentración de coliformes fecales en agua gris varía de  $10^3$ - $10^6$  UFC/100 ml hasta  $10^7$ - $10^8$  UFC/100 ml (Morel y Diener, 2006).

Las concentraciones de aceites y grasas varían generalmente entre 37-78 mg/l, y 8-35 mg/l, respectivamente. Altas cantidades de aceites y grasas podrían crear una capa de grasa en los tanques de decantación y pueden ocasionar fallos en el sistema de tratamiento por obstrucción de las tuberías y las capas de filtración. Se deben mantener las concentraciones de aceites y grasas por debajo de los 30 mg/l a fin de prevenir problemas de mantenimiento del sistema de tratamiento (Morel y Diener, p. 14, 2006).

Los tensoactivos (o surfactantes) se emplean para disminuir la tensión superficial del agua para hacer más sencillo el lavado. Algunos estudios sugieren que la acumulación de surfactantes en los suelos puede producir reducción de la capilaridad e incremento de la impermeabilidad. La mayor parte de los países desarrollados han prohibido el uso de tensoactivos no biodegradables, pero muchos de los países en desarrollo todavía los emplean. El control en origen puede ayudar a reducir el empleo de surfactantes, así



como el vertido de otras sustancias más peligrosas en las aguas grises (Morel y Diener, p. 14, 2006).

A partir de la bibliografía revisada por Li (Li, 2009), los rangos de contaminación de diferentes aguas grises quedan resumidos en la tabla 4. Aunque hay variaciones en la contaminación de las aguas grises, el análisis de las características de las diferentes categorías indica que las aguas grises que incorporan aguas de cocina y de lavadoras están más cargadas de compuestos orgánicos y contaminantes físicos que las aguas grises del cuarto de baño y las aguas grises mezcla de todas ellas, es decir, las aguas grises mixtas.

Todos los tipos de aguas grises muestran buena biodegradabilidad en términos de la relación de DQO:DBO<sub>5</sub>. En comparación con la relación de DQO:N:P de 100:20:1 (Metcalf y Eddy, 1991) para aguas residuales, las aguas grises de baño son deficientes en nitrógeno y fósforo, debido a la exclusión de la orina y heces. Al igual que las aguas grises del cuarto de baño, las aguas grises de lavandería y las aguas grises mixtas, también son deficientes en nitrógeno. En algunos casos, las aguas grises de lavandería y las mixtas son bajas en fósforo debido al uso de detergentes sin fósforo.

Las aguas grises de cocina contribuyen con altos niveles de materia orgánica, sólidos en suspensión, turbidez y nitrógeno. A diferencia de otras, las aguas grises de cocina no carecen de nitrógeno y fósforo, y tienen una ratio de DQO:N:P muy similar a la sugerida por Metcalf y Eddy (1991). Algunos autores excluyen las aguas residuales de cocina de las otras corrientes. Sin embargo, si las aguas grises son tratadas a través de un proceso biológico, se sugiere que la pequeña cantidad de aguas grises de cocina sea recogida junto con otros flujos para mantener una óptima relación de DQO:N:P. Esto se debe a que las aguas grises de fregaderos de cocina y lavavajillas contribuyen al proceso mencionado con la mayoría de las sustancias biodegradables orgánicas y partículas con nitrógeno.

El análisis de las características de aguas grises de diferentes categorías también muestra que las aguas grises de baño y de lavandería están menos contaminadas por microorganismos en comparación con otras aguas grises. Debido a la presencia de la gran cantidad de sustancias orgánicas fácilmente biodegradables, las aguas grises de cocina están más contaminadas por la tolerancia térmica de los coliformes que otras aguas grises.

Tabla 4. Rangos de contaminación de diferentes aguas grises (Fangyue y Wichmann, 2009)

	BAÑERA, DUCHAS Y LAVAMANOS	LAVADERO	COCINA	MIXTA
pH (-)	6,4-8,1	7,1-10	5,9-7,4	6,3- 8,1
SST (mg/l)	7-505	68-465	134-1.300	25-183
Turbidez (NTU)	44-375	50-444	298	29-375
DQO (mg/l)	100-633	231-2.950	26-2.050	100-700
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	50-300	48-472	536-1.460	47-466
NT (mg/l)	3,6-19,4	1,1-40,3	11,4-74	1,7-34,3
PT (mg/l)	0,11-48,8	N.D. a > 171	2,9-74	0,11-22,8
Coliformes totales (UFC/100 ml)	10-2,4 × 10 <sup>7</sup>	200-7 × 10 <sup>5</sup>	2,4 × 10 <sup>8</sup>	56-8,03 × 10 <sup>7</sup>
Coliformes fecales (UFC/ 100 ml)	0-3,4 × 10 <sup>5</sup>	50-1,4 × 10 <sup>3</sup>	-	0,1-1,5 × 10 <sup>8</sup>

En algunas ocasiones es interesante conocer las concentraciones de nutrientes traza, sobre todo si se van a utilizar procesos biológicos para el tratamiento de las aguas grises. Jefferson *et al.* (2001) detectaron que la deficiencia de macronutrientes y nutrientes traza en las aguas grises puede limitar la eficiencia de tratamiento con procesos biológicos. Sin embargo, Hernández *et al.* (2007) y Knerr *et al.* (2008) llegaron a la conclusión de que la relación de DQO:DBO<sub>5</sub> de las aguas grises es de aproximadamente 0,50, lo que indica un buen potencial para el tratamiento bio-

lógico. También indicaron que las concentraciones de nutrientes no muestran ninguna limitación aparente para el crecimiento de microorganismos. Los estudios de Palmquist y Hanæus (2005) y Hernández *et al.* (2007) (tabla 5) han puesto de manifiesto que las aguas grises presentan valores elevados en S, Ca, K y Al, y los niveles de concentración de los nutrientes traza están cerca de los requisitos necesarios (Burgess *et al.*, 1999). La deficiencia de nutrientes traza en aguas grises obtenido por Jefferson *et al.* (2001) se debe a la exclusión de las aguas grises de cocina.

Tabla 5. Concentración de macronutrientes y nutrientes traza presentes en las aguas grises

NUTRIENTES	REQUISITOS PARA POSIBILITAR UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO Burgess et al. (1999) Beardsley y Coffey (1985)	AGUAS GRISAS Palmquist y Hanæus (2005)	AGUAS GRISAS Hernández et al. (2007)	AGUAS GRISAS Jefferson et al. (2001).
N (mg/l)	15	9,68	17,2-47,78	5,00
P(mg/l)	3	7,53	4,17	1,37
S (mg/l)	1	23,7	19,00	16,3
Ca (mg/l)	0,1-1,4	33,8	60,79	47,9
K (mg/l)	0,8 a > 3,0	8,10	11,2-23,28	5,79
Fe (mg/l)	0,1-0,4	0,36	0,11	0,017
Mg (mg/l)	0,4-5,0	5,74	6,15	5,29
Mn (mg/l)	0,01-0,5	0,0121	< 0,05	0,04
Cu (mg/l)	0,01-0,5	0,0618	0,08	0,006
Al (mg/l)	0,01-0,5	2,44	0,49	0,003
Zn (mg/l)	0,1-0,5	0,0644	0	0,03
Mo (mg/l)	0,2-0,5	-	< 0,05	0
Co (mg/l)	0,1-5,0 <sup>c</sup>	0,00136	< 0,05	0

La Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios considera los siguientes valores de contaminación de las aguas grises (se consideran aguas grises las aguas procedentes de lavabos, duchas y bañeras):

Tabla 6. Concentración de contaminantes de aguas grises (AQUA España)

PARÁMETRO	VALOR
Sólidos en suspensión	45-330 mg/l
Turbidez	22-200 mg/l
DBO <sub>5</sub>	90-290 mg/l
Coliformes totales	10-10 <sup>6</sup> UFC/100 ml
Escherichia coli	10-10 <sup>5</sup> UFC/100 ml
Nitrógeno Kjeldahl	2,1-31,5 mg/l

### 3. DIRECTRICES DE CALIDAD PARA EL RECICLAJE DE AGUAS GRISES

Las aguas grises regeneradas deben cumplir con cuatro criterios básicos para su reciclaje: seguridad higiénico-sanitaria, bondad estética, tolerancia ambiental y viabilidad económica (Nolde, 1999). Sin embargo, frecuentemente, la falta de normas adecuadas de calidad ha obstaculizado su reciclaje adecuado. Fijar una normativa tampoco es sencillo debido a que las diferentes aplicaciones y usos requieren diferentes especificaciones de calidad del agua y, por lo tanto, exigen tratamientos diferentes. Si se hace revisión de la evolución de las normas para reutilización de aguas residuales se aprecia que tampoco ha habido unas directrices internacionales homogéneas y muy pocas directrices de reutilización han tenido en cuenta el reciclaje de aguas grises.

En el 2006, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó una guía para la reutilización de aguas grises para riego agrícola. La guía solo describe los requisitos microbiológicos sin tener en cuenta los demás parámetros físicos y químicos. Por el contrario, la German Berliner Senate Office for Construction and Housing ha establecido una guía de reciclaje de aguas grises en la que se fijan valores de parámetros tales como  $DBO_7$ , la concentración de oxígeno, coliformes totales, coliformes fecales y *Pseudomonas aeruginosa* (Nolde, 1999).

Aunque la mayoría de las directrices de reutilización de agua publicadas se aplican a la regeneración de aguas residuales municipales, estas directrices se suelen utilizar como base para el establecimiento de directrices para las aguas grises. De la revisión de directrices de calidad para reciclaje de aguas grises, parámetros como el pH, SST,  $DBO_5$ , turbidez, coliformes totales y coliformes fecales deben ser, al menos, incluidos para el establecimiento de una guía. En ocasiones, algunas de las directrices también contienen límites para parámetros tales como amoníaco, fósforo, nitrógeno y cloro residual. Las directrices de reciclaje de aguas grises en China es una de las pocas que incluye parámetros adicionales como sólidos disueltos totales, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, fósforo total y detergentes (Ernst *et al.*, 2006).

Fangyue y Wichmann (2009), a partir de los estudios de Maeda *et al.* (1996), Nolde (1999), Ernst *et al.* (2006) y Asano (2007), proponen unas directrices de reutilización de aguas grises no potables (tabla 7) tanto para reciclaje con usos restringidos como usos sin restricción. Obviamente, son necesarios menos requisitos de calidad del agua en usos restringidos que sin restricción. Esta propuesta de directriz incluye parámetros como coliformes fecales, coliformes totales, SST, turbidez,  $DBO_5$ , detergentes,  $N_{total}$  y  $P_{total}$ .

Tabla 7. Propuesta de directrices de calidad para aguas grises reciclables (Fangyue y Wichmann, 2009)

CATEGORÍAS		OBJETIVOS DE TRATAMIENTO	APLICACIONES
Estanques, lagunas, usos recreativos	Usos sin restricción	$DBO_5 \leq 10 \text{ mg/l}$	Fuentes ornamentales, estanques artificiales de recreo, lagos y lagunas para nadar.
		$N_{\text{total}} \leq 1,0 \text{ mg/l}$	
		$P_{\text{total}} \leq 0,05 \text{ mg/l}$	
		Turbidez $\leq 2 \text{ NTU}$	
		pH 6-9	
		Coliformes fecales $\leq 10^3 \text{ UFC/100 ml}$	
		Coliformes totales $\leq 10^4 \text{ UFC/100 ml}$	
	Usos con restricción	$DBO_5 \leq 30 \text{ mg/l}$	Los lagos y estanques de recreo sin contacto con el cuerpo.
		$N_{\text{total}} \leq 1,0 \text{ mg/l}$	
		$P_{\text{total}} \leq 0,05 \text{ mg/l}$	
		Turbidez $\leq 30 \text{ NTU}$	
		pH 6-9	
		Coliformes fecales $\leq 10^3 \text{ UFC/100 ml}$	
		Coliformes totales $\leq 10^4 \text{ UFC/100 ml}$	
Usos en servicios urbanos y riego agrícola	Usos sin restricción	$DBO_5 \leq 10 \text{ mg/l}$	Descargas de los inodoros, lavadoras, aire acondicionado, agua de procesos, riego de jardines, protección contra incendios, construcción, riego por superficie de cultivos alimenticios y vegetales (consumo en crudo) y lavado de calles.
		Turbidez $\leq 2 \text{ NTU}$	
		pH 6-9	
		Coliformes fecales $\leq 10^3 \text{ UFC/100 ml}$	
		Coliformes totales $\leq 10^4 \text{ UFC/100 ml}$	
		Cloro residual $\leq 1 \text{ mg/l}$	
		Usos con restricción	
	Detergentes (aniónicos) $\leq 1 \text{ mg/l}$		
	SST $\leq 30 \text{ mg/l}$		
	pH 6-9		
	Coliformes fecales $\leq 10^3 \text{ UFC/100 ml}$		
	Coliformes totales $\leq 10^4 \text{ UFC/100 ml}$		
	Cloro residual $\leq 1 \text{ mg/l}$		

La *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios* considera los siguientes valores de

contaminación de las aguas grises (se consideran aguas grises las aguas procedentes de lavabos, duchas y bañeras):

Tabla 8. Parámetros de control del agua gris tratada (AQUA España)

PARÁMETRO	RESIDENCIAL	SERVICIOS URBANOS
Turbidez (NTU)	< 2	< 10
Escherichia coli	No detectado	< 200
Biocida activo (en caso de cloro residual libre, si se adiciona cloro, $Cl_2 \text{ mg/l}$ )	0,5-2,0	0,5-2,0
pH, si se adiciona cloro	7,0-8,0	7,0-8,0

Los objetivos de calidad para descarga de inodoros del Real Decreto 1620/2007, de

reutilización de aguas residuales, son los siguientes:

Tabla 9. Criterios de calidad para la reutilización de las aguas en usos urbanos (Real Decreto 1620/2007)

PARÁMETRO	USO RESIDENCIAL Aguas en descargas de aparatos sanitarios y riego de jardines privados (valor máximo admisible)	USOS EN SERVICIOS Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares), baldeo de calles, sistemas contra incendios, lavado industrial de vehículos (valor máximo admisible)
Nemátodos intestinales	1 huevo/10 l	1 huevo/10 l
Escherichia coli	0 (UFC/100 ml)	200 (UFC/100 ml)
Sólidos en suspensión	10 mg/l	20 mg/l
Turbidez	2 UNT	10 UNT

### 3.1. Tratamiento de las aguas grises

El esquema fundamental de un sistema de gestión de aguas grises implica cuatro elementos fundamentales:

- Sistema de recogida
- Sistema de acumulación de agua bruta
- Sistema de tratamiento o depuración
- Sistema de regulación de agua tratada o depurada
- Sistema de impulsión

La caracterización de las aguas grises revela que deben ser, en general, tratadas hasta cierto nivel antes de su reutilización para evitar riesgos en la salud y efectos negativos ambientales. En ciertas ocasiones, en el mercado,

se encuentran diseños de aprovechamientos de aguas grises, como lavabos, directamente a la cisterna, sin ningún tipo de tratamiento.

El objetivo principal de la recuperación de aguas grises para la reutilización es la reducción de los sólidos en suspensión (llegando a valores realmente bajos de turbidez en algunas ocasiones), la carga orgánica y los microorganismos, debido a su relación con las características estéticas y sanitarias del agua.

Del análisis de la bibliografía y de la documentación técnica existente en el mercado es posible realizar una primera tabla de líneas de tratamiento (como encadenamiento de etapas) de aguas grises que son ofertadas por los fabricantes.

Tabla 10. Configuración de diferentes procesos de tratamiento o depuración de aguas grises

TIPO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	ETAPA 5
1	Desbaste fino (tamiz, rejilla)	Proceso biológico	Desinfección UV		
2	Desbaste fino (tamiz, rejilla)	Proceso biológico	Ultrafiltración		
3	Prefiltro	Filtro de arena (monocapa, sílex)	Filtro de anillas	Filtro de cartucho	Desinfección UV
4	Desbaste fino (tamiz, rejilla)	Filtro de arena (multicapa, sílex, varias granulometrías)	Desinfección UV	Dosificación de cloro	
5	Desarenador y desengrasador	Proceso biológico	Decantación secundaria	Desinfección UV	Cloración
6	Desbaste	Proceso biológico (1.ª etapa)	Proceso biológico (2.ª etapa)	Desinfección UV	
7	Desinfección	Oxidación con ozono	Filtración con membranas	Cloración	
8	Desbaste fino (tamiz, rejilla)	Proceso biológico (con desnitrificación)	Proceso biológico (oxidación MO y de nitrógeno)	Filtro a presión multicapa (sílex y antracita)	
9	Desbaste fino (tamiz, rejilla)	Proceso biológico (con desnitrificación)	Proceso biológico (oxidación MO y de nitrógeno)	Ultrafiltración	



Como se aprecia en la tabla, las tecnologías aplicadas para el tratamiento de aguas grises incluyen procesos físicos, químicos y biológicos. La mayoría de las líneas de tratamiento tienen una etapa de separación de sólido y líquido como pretratamiento, seguida por una etapa de desinfección como postratamiento.

La tabla anterior es solo un ejemplo de la amplia variedad de tipos de procesos y combinaciones de ellos. Como gran diferencia entre unas y otras líneas de tratamiento se puede destacar el uso o no de un proceso biológico de depuración.

Los sistemas suelen ir acompañados de depósitos de agua bruta (con un rebose para evacuar agua al sistema de alcantarillado en caso de que el sistema de gestión de aguas grises no pueda procesar más agua) y de agua tratada. El almacenamiento previo permite alcanzar una homogeneización necesaria debido a la variación que presenta el afluente. Es conveniente que el pretratamiento se realice antes de este primer depósito de almacenamiento. Además, si este primer depósito no se destina a decantación de sólidos en suspensión, es conveniente que permanezca agitado.

El agua suele impulsarse a la red de distribución (específica para este cometido) mediante un grupo a presión. Los residuos (del desbaste o de los sistemas de desengrasado) y los fangos generados (de los procesos biológicos o del lavado de los filtros) son enviados a la red de alcantarillado o a la fosa séptica, o tanque Imhoff, en el caso de que esos sean los dispositivos de tratamiento de las otras aguas residuales, normalmente en viviendas aisladas.

Los tratamientos físicos pueden estar constituidos por una filtración en arena gruesa a filtración con membranas. El filtro grueso es el único que tiene un efecto limitado sobre la eliminación de los contaminantes presen-

tes en las aguas grises. El uso de sistemas de filtración de paso fino, o muy fino, de forma directa sobre el agua bruta presenta problemas de atascamiento, por lo que se precisa de una gradación de huecos de paso si se quiere utilizar de forma directa microfiltración o ultrafiltración. Sin embargo, estos últimos procesos, aunque proporcionan una excelente eliminación de los sólidos en suspensión (hasta el 100 %), reducción de turbidez y reducción de patógenos, tienen una baja eficiencia en la eliminación de los compuestos orgánicos disueltos y no se suelen alcanzar valores de inferiores a 10 mg/l.

El análisis detallado de los distintos procesos físicos de tratamiento de aguas grises lleva a la conclusión de que los procesos físicos por sí solos son insuficientes para garantizar una adecuada reducción de la materia orgánica, nutrientes y agentes tensoactivos, excepto en situaciones donde la carga orgánica es muy baja.

Los procesos químicos aplicados para tratamientos de aguas grises incluyen coagulación y floculación, la fotooxidación catalítica, intercambio de iones, el carbón activo granular, etc.

Los procesos biológicos aerobios son capaces de lograr una excelente eliminación orgánica y de turbidez. Los procesos aerobios de tratamiento de aguas grises, incluidos los humedales artificiales, pueden lograr rendimientos satisfactorios con respecto a la eliminación de sustancias orgánicas biodegradables. Después de los procesos biológicos la mayoría de las sustancias orgánicas biodegradables se eliminan y, por consiguiente, el recrecimiento de los microorganismos y los problemas de olor se evitan en su mayor parte, por lo que las aguas grises tratadas son más estables para el almacenamiento durante largos períodos.

En la bibliografía son abundantes las referencias de que los procesos biológicos existen-

tes para tratamiento de aguas grises de baja carga pueden obtener valores de  $DBO_5$  en las aguas grises tratadas menores 10 mg/l.

Para aguas grises de media o alta carga los procesos biológicos basados en biodiscos, sistemas SBR o biorreactores con membranas (MBR) permiten alcanzar elevados rendimientos, pero se debe aplicar una etapa de filtración en membrana o filtro de arena, seguida por una etapa de desinfección, para alcanzar los requisitos en microbiología, sólidos en suspensión y turbidez, cuando los usos posteriores son altamente exigentes. Otros procesos biológicos que se han utilizado con éxito han sido los lechos aireados sumergidos.

En términos de rendimiento del tratamiento y costes, de explotación y mantenimiento, los

humedales artificiales se pueden considerar como la tecnología más efectiva para el tratamiento de las aguas grises, aunque se requiere un gran espacio y, por lo tanto, no son adecuados para su aplicación en las áreas urbanas.

Alternativamente, los efluentes de los procesos fisicoquímicos pueden ser afinados por la filtración de arena, y desinfectados, para cumplir los requisitos menos estrictos de reciclaje de aguas grises en usos urbanos menos exigentes.

En la siguiente figura se presentan dos estrategias de configuración de la línea de tratamiento de aguas grises con diferentes características en su carga de contaminantes.

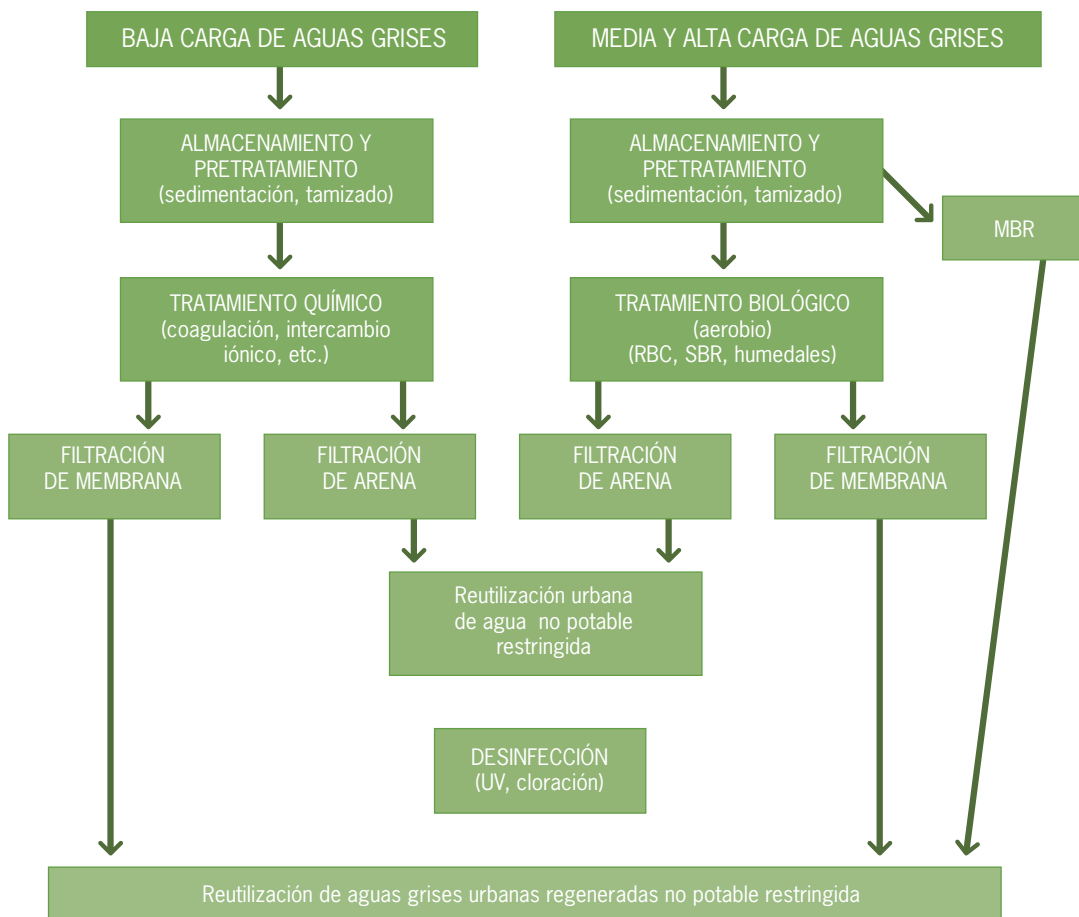


Figura 3. Esquema de sistemas de reciclaje de aguas grises para reutilización de agua no potable en usos urbanos (Fangyue y Wichmann, 2009)

## 4. PROCESOS EXTENSIVOS COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES EN LAS VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN EL MEDIO RURAL

### 4.1. Los procesos extensivos de depuración

Las tecnologías de depuración pueden ser clasificadas en dos grandes bloques: tecnologías intensivas y tecnologías extensivas. La diferencia entre ambas radica en dos aspectos fundamentales: el empleo de equipos electromecánicos, con la consecuente necesidad de aportar energía eléctrica al sistema, y la superficie requerida para su implantación.

En pequeñas aglomeraciones o en viviendas independientes se suelen utilizar como tratamientos primarios las fosas sépticas y los tanques Imhoff. Una posibilidad para mejorar los efluentes de estos procesos consiste en el uso de tratamientos secundarios extensivos, cuyo funcionamiento se basa en la imitación de los procesos de depuración que ocurren de forma natural en los suelos y en los cuerpos de agua. Humedales artificiales, filtros de arena o filtros de turba son tratamientos de secundarios extensivos. En uno de los capítulos de este libro se detallan las características y criterios de dimensionamiento de este tipo de procesos cuando se utilizan para tratar aguas residuales urbanas.

Este tipo de procesos, por definición, ocupan más superficie de suelo que los procesos intensivos (aireación prolongada, biodiscos, etc.) pero, sin embargo, tienen costes de inversión más bajos. Además, la explotación de estos procesos es más simple, más flexible y permite un gran ahorro de energía.

### 4.2. Los humedales artificiales

Los humedales naturales son zonas que se inundan periódicamente, con una frecuencia y profundidad tal que promueven el

crecimiento de una vegetación específica adaptada a las condiciones de los suelos saturados. Se forman como zonas de transición entre los ecosistemas acuáticos y las tierras altas.

Los humedales artificiales, también llamados humedales construidos (*constructed wetlands*), son reactores que reproducen artificialmente las condiciones biogeoquímicas de los humedales naturales, tanto en materiales como en procesos, a fin de facilitar la eliminación de los contaminantes típicos de aguas residuales de procedencia doméstica, industrial o de escorrentía.

El carácter artificial está definido por su confinamiento, para evitar la infiltración y percolación del agua residual en el suelo natural y subsuelo, y, en algunos casos, por el régimen de aporte de afluente que presenta el sistema.

Los humedales artificiales se pueden definir como monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrófitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos, donde el efluente, normalmente después de recibir un pretratamiento, pasa a través del humedal durante un determinado tiempo, el tiempo de retención. Los procesos fisicoquímicos y biológicos llevados a cabo en los humedales artificiales son los mismos que tienen lugar en los humedales naturales. Un fenómeno de gran interés en estos humedales es que parte del oxígeno necesario para estos procesos es suministrado por las propias plantas, que lo obtienen por fotosíntesis, tomándolo del aire e inyectándolo hasta la zona radicular. La transferencia de oxígeno hacia la zona radicular por parte de estas plantas acuáticas es un requisito imprescindible para que la eliminación microbiana de algunos contaminantes se realice con eficacia, estimulando además la degradación de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes.

Distintos autores han propuesto clasificaciones para los humedales artificiales. Debido a la amplia gama de diseños propuestos a lo largo de su desarrollo tecnológico, su clasificación puede hacer referencia al sistema de flujo del agua residual, al sustrato o lecho utilizado, al tipo de vegetación plantada o a la sucesión de etapas de tratamiento.

Si se realiza la clasificación basada en el tipo de movimiento del flujo del agua residual en el humedal, se puede realizar la clasificación mostrada en la figura 4.

En la bibliografía se encuentran abundantes referencias de tratamiento de aguas grises tanto con humedales de flujo horizontal como de flujo vertical.

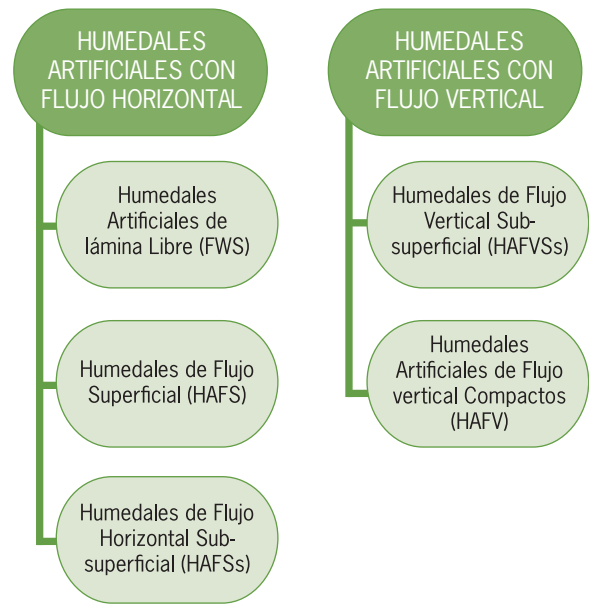


Figura 4. Esquema de la clasificación general de los humedales artificiales

Tabla 11. Clasificación de los humedales artificiales según el movimiento del flujo

DIVISIÓN	TIPOLOGÍA	DESCRIPCIÓN GENERAL
Humedales artificiales con movimiento horizontal del flujo	Humedales artificiales de lámina libre (FWS)	El agua fluye por encima del sedimento del humedal y por entre el sistema radicular de las plantas flotantes. La lámina de agua libre está constantemente expuesta a la atmósfera. La profundidad va desde los 20 a los 40 m.
	Humedales de flujo superficial (HAFS)	El agua fluye por encima del sedimento del humedal y entre los tallos de las macrófitas emergentes. La superficie del agua se encuentra expuesta a la atmósfera. La profundidad puede variar de 40 a 60 cm.
	Humedales de flujo horizontal subsuperficial (HAFHS)	El agua circula en movimiento horizontal entre el sustrato poroso del humedal como gravilla o grava. La profundidad del medio granular suele ser de 50 cm.
Humedales artificiales con movimiento vertical del flujo	Humedales de flujo vertical subsuperficial (HAFVSS)	El agua circula en movimiento vertical o diagonal entre el sustrato poroso del humedal como gravilla o grava. La profundidad del medio granular suele ser de 40 a 60 cm. Trabajan en serie.
	Humedales artificiales de flujo vertical compactos (HAFV)	El agua circula de forma totalmente vertical. Forman una tipología de humedal artificial compacta, no necesita de periodos prolongados de descanso y trabajan de forma individual en paralelo. La profundidad del medio granular suele ser $\geq 80$ cm.

### 4.3. Tratamiento de aguas grises mediante humedales

El humedal artificial ha sido considerado como la tecnología más eficaz y respetuosa con el medio ambiente en combinación con un coste razonable para el tratamiento de aguas grises.

La bibliografía muestra un buen rendimiento en los humedales artificiales para el tratamiento de las aguas grises. Valores medios del orden de 15 mg/l son habituales en este tipo de sistemas, con turbidez por debajo de 8 NTU.



Figura 5. Módulos piloto de humedales de flujo vertical de tratamiento de aguas residuales (GEAMA, 2011)

En las siguientes figuras se presentan varias configuraciones de interés para el tratamiento de aguas grises con diferentes cargas en viviendas unifamiliares.

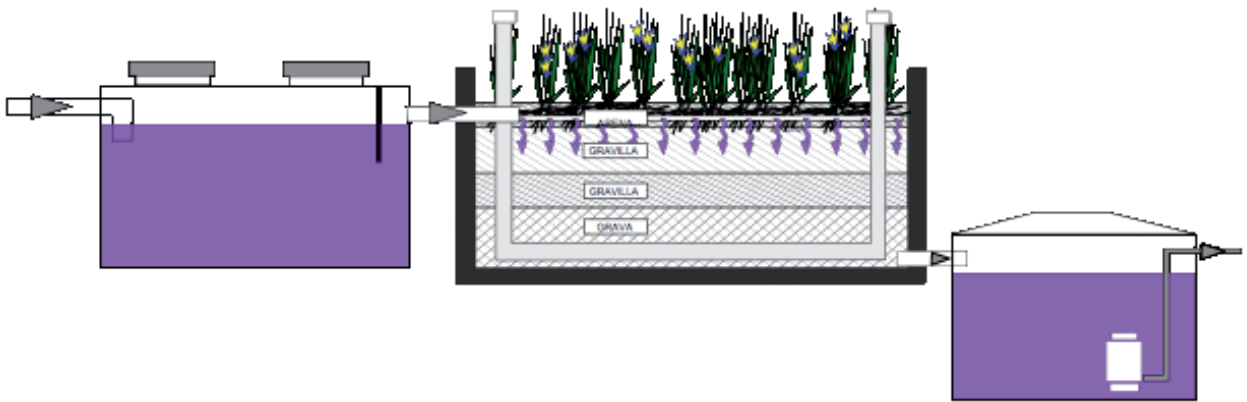


Figura 6. Ejemplo de tratamiento de aguas grises con baja carga

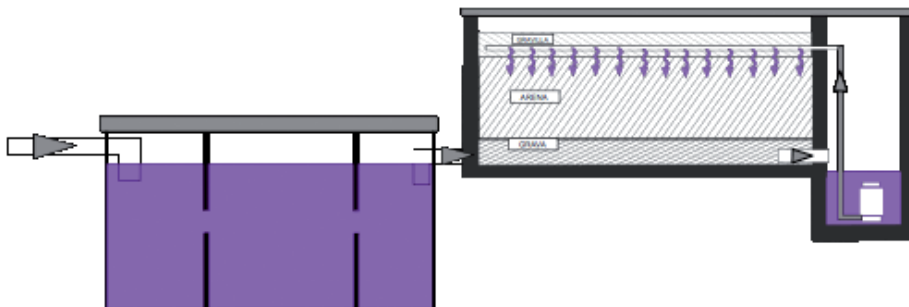


Figura 7. Ejemplo de tratamiento de aguas grises con media carga



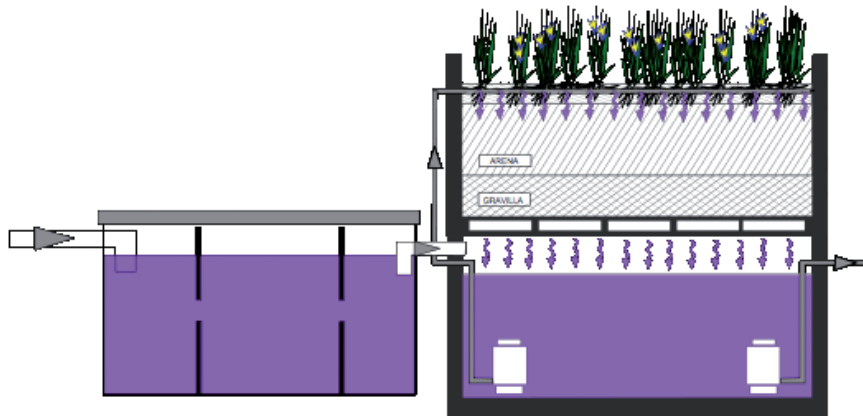


Figura 8. Ejemplo de tratamiento de aguas grises con media carga

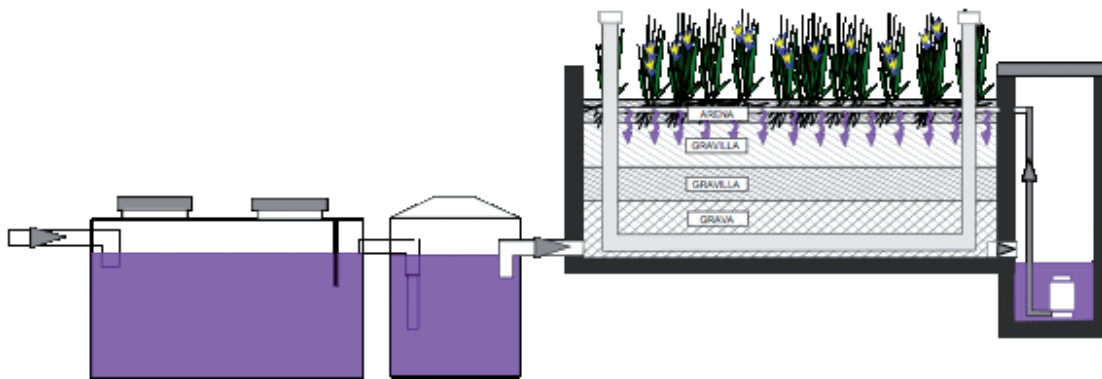


Figura 9. Ejemplo de tratamiento de aguas grises con media carga

## 5. CONCLUSIONES

El reciclaje de aguas grises se presenta como una fuente complementaria de agua para usos domésticos. Es preciso que cuando se realiza una apuesta para su aprovechamiento quede perfectamente claro qué flujos van a reciclarse, ya que deben elegirse de forma adecuada los tratamientos, y no siempre los tratamientos más sofisticados tecnológicamente son los mejores. Los costes de instalación y la superficie necesaria, los costes de explotación y mantenimiento, así como la dependencia tecnológica deben ser, entre otros factores, tenidos en cuenta.

Los humedales artificiales, o construidos, precedidos por un pretratamiento y una de-

cantación (que permita también atrapar grasas y espumas), suponen una interesante alternativa de tratamiento de aguas grises con baja y media carga, para viviendas aisladas.

Algunas de las estrategias de gestión sostenible del agua en una vivienda, o en los núcleos urbanos, son de fácil aplicación; principalmente consisten en el uso de determinadas tecnologías o infraestructuras, con no excesiva complicación en su explotación y mantenimiento. Sin embargo, su éxito depende de la voluntad de las personas de cambiar sus hábitos, de cambiar su cultura, de cambiar la forma en la que valoramos y usamos el agua. Estos cambios son los realmente más difíciles de realizar.

## REFERENCIAS

- AQUA ESPAÑA. *Guía técnica española de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios*, grupo de trabajo de la Comisión Sectorial de Aguas Grises, 2011.
- ASANO, T. «Milestones in the reuse of municipal wastewater», *Proceedings of water supply and sanitation for all*, 295-306, Berching, Alemania, 2007.
- BURGESS, J. E.; QUARMBY, J.; STEPHENSON, T. «The role of micronutrients in biological treatment of industrial effluents using the activated sludge process», *Biotechnol. Adv.*, 17: 49-70, 1999.
- ERNST, M.; SPERLICH, A.; ZHENG, X.; GAN, Y.; HU, J.; ZHAO, X.; WANG, J.; JEKEL, M. «An integrated wastewater treatment and reuse concept for the Olympic Park 2008, Beijing», *Desalination*, 202 (1-3): 293-301, 2006.
- HERNÁNDEZ, L.; ZEEMAN, G.; TEMMINK, H.; BUISMAN, C. «Characterization and biological treatment of greywater», *Water Sci. Technol.*, 56 (5):193-200, 2007.
- JEFFERSON, B.; BURGESS, J. E.; PICHON, A.; HARKNESS, J.; JUDD, S. «Nutrient addition to enhance biological treatment of greywater», *Water Res.*, 35 (11): 2702-10, 2001
- KNERR, H.; ENGELHART; HANSEN, J.; SAGAWA, G. «Separated grey- and blackwater treatment by the KOMPLETT water recycling system — a possibility to close domestic water cycle», *Proceeding of Sanitation Challenge: New Sanitation Concepts and Models of Governance*, 260-269, Wageningen, Países Bajos, 2008.
- LI, F. *Treatment of household grey water for non-potable reuses*, tesis doctoral, Hamburg University of Technology, 2009.
- MAEDA, M.; NAKADA, K.; KAWAMOTO, K.; IKEDA, M. «Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan», *Water Sci. Technol.*, 33 (10-11): 51-7, 1996.
- METCALF AND EDDY, INC. «Wastewater engineering — treatment, disposal and reuse», en TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L. (eds.). *McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering*, 3.ª edición, Nueva York, 1991.
- MOREL, A.; DIENER, S. *Grey water management in low and middle-income countries. Water and Sanitation in Developing Countries (Sandec)*, Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2006, acceso en el 2007 en <http://www.sandec.ch>.
- NOLDE, E. «Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings-over ten years experience in Berlin», *Urban Water*, 1 (1999): 275-84, 1999.
- PALMQUIST, H. y HANÆUS J. «Hazardous substances in separately collected grey- and blackwater from ordinary Swedish households», *Sci. Total Environ.*, 348 (1-3): 151-63, 2005.