

# Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para agua y saneamiento

## Introducción

Las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión<sup>1</sup>. Cuando uno o más miembros del Grupo del Banco Mundial participan en un proyecto, estas guías sobre medio ambiente, salud y seguridad se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. En el caso de proyectos complejos, es probable que deban usarse las guías aplicables a varios sectores industriales, cuya lista completa se publica en el siguiente sitio web:

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>.

Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología

existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar así como un calendario adecuado para alcanzarlas.

La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, tales como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia.

En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las guías, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Si corresponde utilizar niveles o indicadores menos rigurosos en vista de las circunstancias específicas del proyecto, debe incluirse como parte de la evaluación ambiental del emplazamiento en cuestión una justificación completa y detallada de cualquier alternativa propuesta, en la que se ha de demostrar que el nivel de desempeño alternativo protege la salud humana y el medio ambiente.

## Aplicabilidad

Las guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para el sector de agua y saneamiento contienen información relevante para el funcionamiento y mantenimiento de: (i) los sistemas de tratamiento y distribución de agua potable y (ii) la recolección de

<sup>1</sup> Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que los profesionales idóneos y con experiencia pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos grados de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos niveles de factibilidad financiera y técnica.

aguas negras en sistemas centralizados (por ejemplo, mediante redes de tuberías para la recolección de aguas residuales) o descentralizados (por medio de fosas sépticas atendidas posteriormente por camiones de bombeo) y tratamiento de las aguas negras captadas en instalaciones centralizadas<sup>2</sup>.

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

Sección 1.0: Manejo e impactos específicos de la industria  
Sección 2.0: Indicadores y seguimiento del desempeño  
Sección 3.0: Referencias y fuentes adicionales  
Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

---

<sup>2</sup> El presente documento no abarca los retretes con fosa y otros sistemas descentralizados que no requieren servicios adicionales ni el tratamiento posterior de sus contenidos en instalaciones de tratamiento centralizadas.

## 1.0 Manejo e impactos específicos de la industria

### 1.1 Medio ambiente

Los problemas ambientales asociados a los proyectos de agua y saneamiento pueden plantearse principalmente durante las fases de construcción y funcionamiento, dependiendo de las características y componentes del proyecto concreto. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** ofrecen recomendaciones sobre la gestión de las cuestiones de este tipo asociadas a las actividades de construcción que se aplican por lo general a la construcción de obras civiles.

#### 1.1.1 Agua potable

##### Extracción de agua

Las fuentes tradicionales para el tratamiento de agua potable son las aguas superficiales de lagos, corrientes, ríos, etc. y los recursos hídricos subterráneos. En caso de que la calidad de las aguas superficiales o subterráneas sea insuficiente, pueden emplearse otras fuentes de agua (como el agua marina, el agua salobre, etc.) para producir agua potable. La explotación de los recursos hídricos a menudo exige hallar un equilibrio entre las necesidades cualitativas y cuantitativas contradictorias de los seres humanos y del resto del medio ambiente. Éste es un problema particularmente complejo cuando no existe una asignación clara de los derechos sobre el agua, una cuestión que debe resolverse con la participación de las partes relevantes antes de proceder al diseño y la aplicación del proyecto.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los impactos ambientales asociados con la extracción de agua y proteger la calidad del agua incluyen:

- Evaluar los posibles efectos adversos de la extracción de

aguas superficiales sobre los ecosistemas de aguas abajo y utilizar evaluaciones de flujo ambiental apropiadas<sup>3</sup> para determinar las tasas de extracción aceptables

- Diseñar estructuras relacionadas con la extracción de aguas superficiales, incluidas presas y estructuras de captación de aguas, para minimizar el impacto sobre la vía acuática. Por ejemplo:
  - Limitar la velocidad máxima de toma de agua en el diseño de los filtros para restringir el arrastre de organismos acuáticos
  - Evitar la construcción de estructuras de captación de aguas en ecosistemas sensibles. En caso de que existan especies amenazadas o en peligro u otras especies protegidas dentro de la zona hidráulica de influencia de la toma de aguas superficiales, garantizar la reducción de los impactos y el arrastre de peces y moluscos mediante la instalación de tecnologías tales como redes de retención (estacionales o permanentes), filtros y sistemas de retención de filtros acuáticos
  - Diseñar estructuras de contención y desviación del agua para permitir la libre circulación de peces y otros organismos acuáticos y evitar efectos perjudiciales sobre la calidad de agua
  - Diseñar válvulas de vaciado en las presas con capacidad suficiente para liberar los flujos ambientales apropiados
- Evitar la construcción de pozos de abastecimiento de agua y de estructuras de captación de aguas en ecosistemas sensibles
- Evaluar los posibles efectos perjudiciales de la extracción de aguas subterráneas mediante la modelación de cambios en el nivel de las aguas subterráneas y los impactos resultantes sobre los flujos de aguas

<sup>3</sup> World Bank Water Resources and Environment Technical Note C.1 – Environmental Flow Assessment: Concepts and Materials.

superficiales, la posible subsidencia de tierras, la movilización de contaminantes y la penetración de agua salada. Modificar las tasas de extracción y los emplazamientos en caso necesario para evitar impactos actuales y futuros inaceptablemente perjudiciales, teniendo en cuenta futuros aumentos realistas de la demanda.

## Tratamiento de agua

Los problemas ambientales asociados al tratamiento del agua incluyen:

- Residuos sólidos
- Aguas residuales
- Sustancias químicas peligrosas
- Emisiones a la atmósfera
- Impactos ecológicos

### *Residuos sólidos*

Los residuos sólidos generados durante el tratamiento de aguas incluyen residuos de procesos, membranas de filtración usadas, medios usados y residuos varios. Los residuos de procesos consisten principalmente en sólidos sedimentados en suspensión procedentes del agua original y de los químicos añadidos durante el tratamiento, como cal y coagulantes. La presedimentación, la coagulación (por ejemplo con hidróxido de aluminio [sulfato de aluminio] o hidróxido férrico), el ablandamiento con cal, la eliminación de hierro y manganeso, y la filtración lenta en arena o en tierra de diatomea generan lodos. La composición de los lodos depende del proceso de tratamiento y de las características del agua original, y puede incluir arsénico y otros metales, radionucleidos, cal, polímeros y otros compuestos orgánicos, microorganismos, etc. Los sistemas de tratamiento de agua empleados para la desalinización generan a menudo membranas deterioradas o gastadas. Los medios usados pueden incluir medios de filtrado (entre ellos, arenas, carbón o tierra de diatomea de las plantas

de filtración), resinas de intercambio iónico, carbón activado granular [CAG], etc.

Las medidas recomendadas para gestionar los residuos sólidos derivados del tratamiento de agua incluyen:

- Minimizar el volumen de sólidos generados por el proceso de tratamiento del agua a través de la optimización de los procesos de coagulación;
- Deshacerse de los lodos de cal mediante su aplicación sobre el terreno en caso de que esté permitido, limitando las tasas de aplicación a aproximadamente 20 toneladas métricas secas por hectárea (9 toneladas secas por acre) para minimizar el potencial de movilización de metales en el tejido de las plantas y en las aguas subterráneas;<sup>4</sup>
- Deshacerse de los lodos de hierro y aluminio mediante su aplicación sobre el terreno, en caso de que esté permitido y de que pueda demostrarse mediante modelización y muestreo que dicha aplicación no perjudica a las aguas subterráneas ni a las superficiales (por ejemplo por la escorrentía de nutrientes). Hacer un uso equilibrado de lodos férricos y de alumbre para fijar el fósforo (por ejemplo mediante la aplicación de abono en operaciones ganaderas) sin provocar la fitotoxicidad por aluminio (procedente del alumbre), niveles de hierro que excedan los niveles de adulteración de metales en los fertilizantes, o niveles de fósforo disponible excesivamente bajos
- Evaluar el impacto potencial sobre el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales, en el contexto de la protección, conservación y sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos y terrestres, en caso de que la tierra se utilice como parte de un sistema de tratamiento de residuos o aguas residuales
- Los lodos pueden requerir un proceso especial de eliminación cuando el agua original contenga niveles

<sup>4</sup> Management of Water Treatment Plant Residuals, Technology Transfer Handbook," EPA/625/R-95/008, abril de 1996.

elevados de metales tóxicos, como por ejemplo arsénico, radionucleidos, etc.

- Regenerar el carbón activado (por ejemplo devolviendo el carbón gastado al proveedor)

### *Aguas residuales*

Las aguas residuales derivadas de los proyectos de tratamiento de agua de lavado de filtros, corrientes de desecho de los procesos de filtración con membranas y corrientes de salmuera del intercambio iónico o de procesos de desmineralización. Estas corrientes residuales pueden contener sólidos en suspensión y sustancias orgánicas del agua no tratada, altos niveles de sólidos disueltos, un alto o bajo pH, metales pesados, etc.

Las medidas recomendadas para gestionar las aguas residuales efluentes incluyen:

- Aplicar sobre el terreno de residuos con elevadas concentraciones de sólidos disueltos, una medida que por lo general es preferible al vertido en aguas superficiales, siempre previa evaluación del impacto potencial de dicha aplicación en el suelo, en las aguas subterráneas y en las aguas superficiales
- Reciclar el agua de lavado de filtros en el proceso en caso de que sea posible
- Tratar y eliminar la corriente de desechos, incluida la salmuera, de acuerdo con los requisitos nacionales y locales. Las opciones de eliminación incluyen la devolución a la fuente original (por ejemplo mar, fuente de agua salobre, etc.) o vertido en un sistema municipal de alcantarillado, evaporación e inyección subterránea.

### *Sustancias químicas peligrosas*

El tratamiento del agua puede requerir la utilización de sustancias químicas para la coagulación, desinfección y acondicionamiento del agua. En general, los impactos

potenciales y las medidas de mitigación asociados al almacenamiento y uso de sustancias químicas peligrosas son similares a los de otros proyectos industriales y se tratan en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad.**

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los posibles impactos ambientales asociados al almacenamiento, manipulación y uso de los desinfectantes químicos en las instalaciones de tratamiento de aguas incluyen:<sup>5,6,7</sup>

- En el caso de los sistemas que utilizan cloración de gas:
  - Instalar sistemas de alarma y seguridad, incluidas válvulas automáticas de cierre que se activan automáticamente al detectar una filtración de cloro
  - Instalar sistemas de contención y lavado para capturar y neutralizar el cloro en caso de producirse una fuga
  - Utilizar tuberías, válvulas, contadores o cualquier otro equipamiento que pueda entrar en contacto con cloro gaseoso o líquido que sean resistentes a la corrosión, y mantener este equipo limpio de contaminantes, incluidos aceites y grasas
  - Almacenar el cloro lejos de las fuentes de sustancias químicas orgánicas, y protegerlo de la luz del sol, la humedad y las altas temperaturas
- Almacenar el hipoclorito de sodio en un entorno fresco, seco y oscuro durante un periodo no mayor a un mes, y utilizar equipos hechos de materiales resistentes a la corrosión
- Almacenar hipoclorito de calcio separado de cualquier materia orgánica y protegerlo de la humedad; vaciar

<sup>5</sup> WorkSafeBC, Chlorine Safe Work Practices [http://www.worksafebc.com/publications/health\\_and\\_safety/by\\_topic/assets/pdf/chlorine.pdf](http://www.worksafebc.com/publications/health_and_safety/by_topic/assets/pdf/chlorine.pdf).

<sup>6</sup> National Drinking Water Clearinghouse Tech Brief: Disinfection, [http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/pdf/OT/TB/TB1\\_Disinfection.pdf](http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/pdf/OT/TB/TB1_Disinfection.pdf).

<sup>7</sup> Chlorine Institute, <http://www.chlorineinstitute.org/Bookstore/SearchBrowse.cfm>

completamente o volver a sellar los contenedores para así repeler la humedad. El hipoclorito de calcio puede almacenarse hasta un año.

- Aislar los contenedores de amoníaco y superficies de alimentación de los contenedores y superficies de alimentación de cloro e hipoclorito
- Minimizar la cantidad de sustancias químicas de cloración almacenada en el terreno, pero mantener un inventario suficiente para cubrir las interrupciones intermitentes en el suministro
- Desarrollar y aplicar un programa de prevención que incluya la identificación de los peligros potenciales, procedimientos de funcionamiento escritos, capacitación, mantenimiento y procedimientos de investigación de accidentes
- Desarrollar e implementar un plan de respuesta a los vertidos accidentales.

### *Emisiones a la atmósfera*

Las emisiones a la atmósfera de las operaciones de tratamiento de aguas pueden incluir ozono (en caso de emplearse la desinfección con ozono) y sustancias químicas gaseosas o volátiles empleadas en los procesos de desinfección (por ejemplo, cloro y amoníaco). Las medidas relativas a las sustancias químicas peligrosas descritas arriba servirán para mitigar los riesgos de derrames de cloro y amoníaco. Además, entre las medidas específicas recomendadas para gestionar las emisiones a la atmósfera están la instalación de un aparato de destrucción de ozono en el tubo de escape del reactor de ozono (por ejemplo, oxidación catalítica, oxidación térmica o carbón activado granulado o CAG).

### **Distribución de agua**

Los principales problemas ambientales vinculados a las redes de distribución es el mantenimiento de una presión adecuada para proteger la calidad del agua en el sistema, así como su

adecuado calibrado y mantenimiento, para garantizar un suministro fiable de agua de calidad adecuada. Los principales problemas medioambientales asociados con la operación de sistemas de distribución de agua incluyen:

- Fugas y pérdidas de presión del sistema de agua
- Vertidos de agua

### *Fugas y pérdidas de presión del sistema de agua*

Las fugas en los sistemas de agua pueden reducir la presión de este sistema y poner en peligro su integridad y su capacidad para proteger la calidad del agua (al permitir que agua contaminada se filtre en el sistema) e incrementar la demanda sobre el suministro del agua original, la presencia de sustancias químicas y la cantidad de electricidad empleada para su bombeo y tratamiento. Las fugas en el sistema de distribución pueden deberse a una instalación o un mantenimiento inadecuados, a una deficiente protección frente a la corrosión, a la sedimentación y tensión provocados por el tráfico y a las vibraciones, las cargas de escarcha, a la sobrecarga y a otros factores. Las medidas recomendadas para prevenir y minimizar las pérdidas de agua en el sistema de distribución incluyen:

- Asegurar que la construcción se ajusta a las normas aplicables y a las prácticas de la industria<sup>8</sup>
- Llevar a cabo operaciones periódicas de inspección y mantenimiento
- Implementar un programa de detección y reparación de fugas que incluya registros de las fugas pasadas y del agua no contabilizada para identificar los problemas potenciales
- Estudiar la posibilidad de sustituir los conductos que hayan sufrido fugas o con más probabilidades de sufrirlas debido a su ubicación, tensiones por presión y otros factores de

<sup>8</sup> Ver por ejemplo la Canadian National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide); y las normas de la American Water Works Association.

riesgo.

### *Vertidos de agua*

Pueden limpiarse periódicamente los conductos del agua para eliminar los sedimentos acumulados u otras impurezas que hayan podido acumularse en la tubería. La limpieza se efectúa aislando las distintas secciones que conforman el sistema de distribución y abriendo las válvulas de descarga o, lo que es más común, las bocas contraincendios, para provocar la salida de un flujo de gran volumen y su paso por la tubería aislada, suspendiendo así los sedimentos asentados. El aspecto ambiental más relevante en la limpieza de los conductos del agua es la descarga del agua purgada, que puede contener altas concentraciones de sólidos en suspensión, cloro residual y otros contaminantes que pueden perjudicar a los cuerpos de aguas superficiales. Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los impactos vinculados al vaciado de las tuberías incluyen:

- Verter el agua purgada en un sistema municipal de alcantarillado con la capacidad adecuada
- Verter el agua purgada en un sistema independiente de alcantarillado de aguas pluviales empleando medidas de gestión tales como estanques de retención, donde los sólidos pueden sedimentarse y el cloro residual consumirse antes de realizar el vertido del agua
- Minimizar la erosión durante el vaciado, por ejemplo evitando zonas de descarga susceptibles a la erosión y distribuyendo el flujo para reducir la velocidad del mismo

### 1.1.2 Saneamiento

Los sistemas de saneamiento comprenden las instalaciones y los servicios utilizados por hogares y comunidades para el manejo seguro de sus excretas<sup>9</sup>. Los sistemas de saneamiento recogen las excretas y crean una barrera efectiva frente al

<sup>9</sup> Sustancias fecales y orina.

contacto humano; las transporta hasta un lugar apropiado; las almacena y/o trata; y las reutiliza o devuelve al medio ambiente. Además de excretas, los sistemas de saneamiento pueden llevar también aguas residuales domésticas y aguas pluviales<sup>10</sup>. Las instalaciones destinadas al transporte, almacenamiento y eliminación pueden además gestionar las aguas residuales de las industrias, establecimientos comerciales e instituciones.

### Recolección de lodos fecales y residuos sépticos

En aquellas comunidades que no disponen de sistemas de alcantarillado, el saneamiento puede basarse en sistemas sobre el terreno, como letrinas de pozo, letrinas de cubo o retretes conectados a las fosas sépticas. Las letrinas de pozo o de cubo deben vaciarse frecuentemente (generalmente, con una frecuencia que oscila entre un día y una semana), los sólidos que se acumulan en los sistemas sépticos (residuos sépticos) también deben eliminarse periódicamente, por lo general cada 2-5 años dependiendo del diseño y uso. El objetivo es mantener un funcionamiento adecuado de los equipos y prevenir el taponamiento, los desbordamientos y el vertido resultante de los contenidos de la fosa técnica. En caso de no existir instalaciones adecuadas para el almacenamiento, la manipulación y el tratamiento de los lodos fecales, éstos pueden ser bombeados de forma indiscriminada al medio ambiente o empleados de forma no higiénica en la agricultura.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los vertidos de residuos sépticos y otros lodos fecales incluyen:

- Promover y facilitar el correcto diseño de las fosas sépticas y mejorar el mantenimiento de los mismos. El diseño de las fosas sépticas debe buscar un equilibrio entre la calidad del efluente y las necesidades de mantenimiento<sup>11</sup>

<sup>10</sup> El exceso de agua procedente de lluvia y no filtrada de forma natural en el suelo.

<sup>11</sup> Las guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad presentan ejemplos de criterios esenciales en el diseño de sistemas sépticos. Los diseños de fosas sépticas más complejos (por ejemplo, tres cámaras, filtros de arena

- Estudiar la posibilidad de efectuar una recolección sistemática y periódica de los lodos fecales y residuos sépticos
- Utilizar vehículos de recolección adecuados. Podría ser necesaria la combinación de camiones cisterna con bombas de vacío y remolques no motorizados con bombas de vacío y menor tamaño para atender a todos los hogares
- Facilitar el vertido de lodos fecales y residuos sépticos en las instalaciones de almacenamiento y tratamiento de modo que no se produzca el vertido de residuos sépticos sin tratar en el medio ambiente

### Alcantarillado

En aquellos casos en que la densidad demográfica o las condiciones locales impiden la existencia de un sistema de saneamiento sobre el terreno efectivo (por ejemplo, fosas sépticas y campos de drenaje), las aguas negras suelen transportarse a través de un sistema de tuberías, bombas y otra infraestructura asociada (alcantarillado) hasta un sistema centralizado de almacenamiento y/o tratamiento. Sólidos y líquidos pueden ser trasladados hasta un emplazamiento centralizado. Los sólidos presentes en las aguas negras podrán recogerse y retirarse periódicamente de los tanques separadores en el emplazamiento (ver la sección sobre Recolección de lodos fecales y residuos sépticos), mientras que los líquidos se trasladan a una ubicación centralizada para su almacenamiento, tratamiento o eliminación. Los usuarios del sistema de alcantarillado pueden ser industrias e instituciones, además de hogares.

En ocasiones, las aguas grises (aguas procedentes de la colada, la cocina, el baño u otras actividades domésticas que normalmente no contienen excretas) se recogen y gestionan con independencia de las aguas negras. Aunque las aguas

añadidos, etc.) pueden mejorar la calidad del efluente, pero suelen ser más propensos a las obstrucciones y otro tipo de fallos, especialmente si no son sometidos a un mantenimiento regular.

grises suelen estar menos contaminadas que las aguas residuales domésticas o industriales, pueden contener niveles altos de microorganismos patógenos, sólidos en suspensión y sustancias como aceite, grasas, jabones, detergentes y otras sustancias químicas domésticas, y pueden tener un efecto perjudicial sobre la salud humana y además, sobre la calidad de los suelos y de las aguas subterráneas.

Los impactos ambientales potenciales más significativos asociados a la recolección de aguas residuales están relacionados con:

- Vertidos de aguas residuales domésticas
- Vertidos de aguas residuales industriales
- Fugas y desbordamientos

### *Vertidos de aguas residuales domésticas*

El vertido no controlado de las aguas residuales domésticas (incluidas las aguas negras y las aguas grises) en los sistemas acuáticos puede provocar, entre otras cosas, la contaminación microbiana y química de las aguas receptoras, una reducción de oxígeno, un aumento de la turbidez y eutrofización. El vertido de aguas residuales en calles o en campo abierto puede contribuir a extender enfermedades, olores, contaminación de pozos, deterioro de las calles, etc. Las medidas para proteger tanto el medio ambiente como la salud pública incluyen:

- Establecer sistemas para la recolección y la gestión eficaz de las aguas negras y las aguas grises (juntas o por separado)
- Si la gestión de las aguas grises es independiente de la de las aguas negras, establecer medidas para el control de las aguas grises originales y así impedir el uso y vertido de sustancias problemáticas, tales como aceite, grasas, partículas de gran tamaño o sustancias químicas.

### *Vertidos de aguas residuales industriales*

Los usuarios industriales de los sistemas de alcantarillado pueden verter aguas residuales industriales al sistema. Algunos residuos industriales pueden provocar incendios y explosiones en el sistema de alcantarillado y en las instalaciones de tratamiento, perturbar los procesos biológicos o de otro tipo de las instalaciones de tratamiento o afectar a la salud y seguridad de los trabajadores; ciertos componentes residuales pueden no recibir un tratamiento eficaz y liberarse en la atmósfera, verse junto con los efluentes tratados o filtrarse en los residuos generados en las plantas de tratamiento, elevando la peligrosidad de éstos.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los vertidos industriales al sistema de alcantarillado incluyen:

- El tratamiento o pretratamiento para neutralizar o eliminar las sustancias químicas tóxicas debería realizarse idealmente dentro de la propia instalación industrial, antes de proceder al vertido del efluente a la alcantarilla o a la masa de agua. Estudiar la posibilidad de colaborar con las autoridades públicas en la implementación de un programa de control en origen para los usuarios industriales y comerciales con el objetivo de garantizar que todas las aguas residuales vertidas en las alcantarillas pueden someterse a un tratamiento efectivo<sup>12</sup>. Algunos ejemplos de estos vertidos problemáticos son: sustancias inflamables, reactivas, explosivas, corrosivas o radioactivas; materiales nocivos o malolientes; residuos médicos o infecciosos; materiales sólidos o viscosos que pueden obstruir u obstaculizar el flujo y el funcionamiento de las plantas de tratamiento; sustancias tóxicas; aceites no biodegradables; y contaminantes que pueden provocar

<sup>12</sup> Ver por ejemplo la Water Environment Federation, *Developing Source Control Programs for Commercial and Industrial Wastewater*, 1996; Federation of Canadian Municipalities, *Wastewater Source Control: A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure*, marzo de 2003; y Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, *Model Pretreatment Ordinance*, EPA 833-B-06-002.

la emisión de gases peligrosos

- Colaborar con las autoridades públicas en la inspección regular de las instalaciones de los usuarios industriales y recoger muestras de los vertidos de aguas residuales al sistema de alcantarillado para garantizar el cumplimiento del programa de control de la fuente
- Llevar a cabo un seguimiento y supervisión del mantenimiento de la alcantarilla y del caudal de entrada en las instalaciones dedicadas al tratamiento de aguas residuales
- Analizar las fuentes de contaminantes aguas arriba que puedan estar provocando interrupciones o interferencias en las plantas de tratamiento
- Facilitar informes públicos sobre vertidos y conexiones ilegales.

### *Fugas y desbordamientos*

Las fugas y desbordamientos del sistema de alcantarillado pueden causar la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales. Dependiendo de la elevación de las aguas subterráneas, las fugas en las tuberías de gravedad también podrían permitir la entrada de aguas subterráneas en el sistema de alcantarillado, incrementando el volumen de aguas residuales que requiere tratamiento y aumentando las posibilidades de desbordamiento y omisión del tratamiento. Los desbordamientos se producen cuando el sistema de recolección no tiene capacidad para gestionar el volumen de aguas residuales, debido entre otros factores a los elevados flujos derivados de fuertes lluvias o pérdidas de potencia, fallo de los equipos u obstrucciones. Los flujos sobrantes pueden contener aguas negras crudas, aguas residuales industriales y escorrentía contaminada.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar las fugas y desbordamientos incluyen:

- Considerar la posibilidad de instalar sistemas de

alcantarillado independientes para las aguas residuales domésticas y para la escorrentía de aguas pluviales en la planificación y diseño globales de los nuevos sistemas de alcantarillado

- En los sistemas de saneamiento en el emplazamiento donde predomine la mezcla de excretas y agua, considerar la utilización de sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro para recoger los efluentes del agua procedente de los sistemas sépticos o tanques separadores
- Limitar en lo posible la profundidad de la alcantarilla (por ejemplo, evitando las rutas que se encuentren bajo calles con un tráfico intenso). En el caso de las alcantarillas más superficiales, se podrá recurrir a pequeñas cámaras de inspección en lugar de tapas de acceso.
- Utilizar los materiales adecuados disponibles en la zona para construir la alcantarilla. Las tuberías de hormigón centrifugado pueden ser útiles en algunas circunstancias, pero también pueden sufrir corrosión a causa del sulfuro de hidrógeno en presencia de obstrucciones y/o pendientes insuficientes.
- Asegurar una capacidad hidráulica suficiente para contener los caudales de pico y una pendiente adecuada en las tuberías de gravedad para prevenir la acumulación de sólidos y la generación de sulfuro de hidrógeno.
- Diseñar tapas de registro capaces de soportar cargas anticipadas y asegurar que su pronta sustitución en caso de rotura y minimizar la entrada de basura y fango en el sistema.
- Equipar las estaciones de bombeo con un suministro de electricidad de reserva, como por ejemplo un generador de diesel, para asegurar un funcionamiento ininterrumpido durante los fallos de alimentación, y llevar a cabo un mantenimiento regular para minimizar las interrupciones del servicio. Considerar la posibilidad de instalar capacidad de bombeo redundante en zonas críticas
- Establecer un programa de mantenimiento rutinario que

incluya lo siguiente:

- Desarrollo de un inventario de los componentes del sistema, con información relativa a la edad, materiales de construcción, zonas de drenaje atendidas, elevaciones, etc.
- Limpieza periódica de los desarenadores y conductos de alcantarillado para retirar la grasa, arenas y otros detritos que puedan provocar el desbordamiento de la alcantarilla. La limpieza deberá realizarse con una mayor frecuencia en las zonas que presenten problemas. Las actividades de limpieza pueden exigir la eliminación de raíces de árboles u otros obstáculos identificados
- Inspección del estado de las estructuras sanitarias de las alcantarillas e identificación de las áreas que precisan reparación o mantenimiento. Los elementos que deberían comprobarse son las tuberías agrietadas/deterioradas; juntas o sellos en los orificios de acceso que presenten pérdidas; obstrucciones frecuentes en las tuberías; conductos cuya capacidad de flujo sea la justa o inferior a la justa; y posibles infiltraciones o fugas
- Supervisión del flujo de la alcantarilla para identificar posibles flujos de entrada y salida
- Llevar a cabo las reparaciones de forma selectiva, priorizando en función de la naturaleza y la gravedad del problema. Se recomienda retirar o reparar de forma inmediata las obstrucciones que se produzcan durante una inundación o en caso de plantearse problemas urgentes que puedan provocar una inundación de forma inminente (por ejemplo fallos en las estaciones de bombeo, rotura de los conductos de la alcantarilla u obstrucciones en los conductos de alcantarillado)
- Revisar los registros previos de mantenimiento de la alcantarilla para ayudar a identificar los “focos calientes” o zonas que padecen frecuentes problemas de

mantenimiento y ubicaciones susceptibles de sufrir fallos en el sistema, y realizar un mantenimiento preventivo y la rehabilitación o sustitución de conductos cuando corresponda

- Al producirse un vertido, fuga y/o desbordamiento, se impedirá la entrada de aguas negras en el sistema de drenaje de aguas pluviales cubriendo o taponando los orificios de entrada de los tubos de drenaje, o se contendrán y desviarán las aguas negras de los canales abiertos y otras instalaciones de drenaje de aguas pluviales (utilizando sacos terreros, presas inflables, etc.). Eliminar las aguas negras empleando sistemas de vacío y otras medidas para desviarlas de nuevo hacia el sistema de alcantarillado sanitario.

## Tratamiento y vertido de aguas residuales y lodos

Por lo general, las aguas negras deben someterse a un tratamiento antes de poder verterse en el medio ambiente. El grado y la naturaleza del tratamiento de aguas residuales y lodos dependen de las normas aplicables y de la eliminación o uso planeados para los efluentes líquidos y lodos y el método de aplicación correspondiente. Los distintos procesos de tratamiento pueden reducir los sólidos en suspensión (que pueden atascar ríos, canales y tuberías de riego por goteo); materiales orgánicos biodegradables (que consumen los microorganismos y que pueden provocar una reducción de los niveles de oxígeno en las aguas receptoras); bacterias patógenas y otros organismos causantes de enfermedades; y nutrientes (que estimulan el crecimiento de algas indeseables que, cuando mueren, pueden incrementar el volumen de materiales orgánicos biodegradables).

Las alternativas para el vertido y uso de las aguas residuales incluyen el vertido a cursos o masas de agua naturales o artificiales; el vertido to tratamiento estanques o humedales

(incluida la acuicultura); y la utilización directa en la agricultura (por ejemplo, riego de cultivos). En todos los casos, debe tenerse en cuenta el uso de las aguas receptoras (por ejemplo, navegación, recreo, riego o consumo) y su capacidad de asimilación para fijar un nivel de calidad del vertido en el emplazamiento concreto que cumpla con el uso más sensible posible.

Los impactos ambientales más significativos asociados al tratamiento, vertido y uso de las aguas residuales y los lodos incluyen:

- Efluentes líquidos
- Residuos sólidos
- Emisiones a la atmósfera y olores
- Sustancias químicas peligrosas
- Impactos ecológicos

### *Efluentes líquidos*

Las aguas residuales tratadas (efluentes líquidos) pueden reutilizarse para regar o para otros fines, o eliminarse bajo la supervisión de la autoridad reguladora. En caso de no reutilizarse, las aguas residuales tratadas pueden verterse en el mar, en ríos, en grandes masas de aguas superficiales; en masas de aguas superficiales menores y cerradas; y en humedales y lagunas.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los efluentes líquidos incluyen:

- Minimizar las desviaciones del sistema de tratamiento utilizando, en caso de que sea posible, sistemas independientes para las aguas pluviales y para las aguas residuales, y asegurando una capacidad suficiente para hacer frente a los caudales de pico
- Implementar un programa de control de las fuentes industriales que incluya la supervisión y el cumplimiento y

la ejecución efectiva de las normas

- Colaborar con los funcionarios públicos para seleccionar las tecnologías de tratamiento más apropiadas, teniendo en cuenta factores como la calidad y cantidad de aguas residuales sin tratar y su variabilidad; la superficie de terreno disponible para la planta de tratamiento; y los recursos disponibles para gastos de capital, operación, mantenimiento y reparación; disponibilidad de trabajadores cualificados, capacitación de los trabajadores, personal de mantenimiento, sustancias químicas para el tratamiento y sustitución de las partes patógenas<sup>13</sup>
- Diseñar, construir, operar y mantener instalaciones de tratamiento de aguas residuales y lograr una calidad de agua efluente coherente con los requisitos nacionales aplicables o con las normas internacionalmente aceptadas<sup>14</sup> y coherente también con los objetivos de calidad del agua basados en la capacidad de asimilación y el uso final más sensible de las aguas receptoras<sup>15,16</sup>
- Considerar la posibilidad de verter las aguas residuales tratadas en zonas húmedas naturales o artificiales, lo que puede contribuir a mitigar el impacto del vertido sobre el medio ambiente acuático, a menos que el propio humedal pueda degradarse a causa del vertido
- Tratar las aguas grises, si se recogen por separado de las aguas negras, para eliminar de ellas los contaminantes orgánicos y reducir los niveles de sólidos en suspensión, organismos patógenos y otras sustancias problemáticas a niveles aceptables, basándose en la normativa nacional y local aplicables<sup>17</sup>. Los sistemas y los puntos de uso de las

aguas grises deben estar claramente indicados para evitar su utilización accidental como agua potable

- Considerar la posibilidad de reutilizar el efluente tratado, especialmente en aquellas zonas con un suministro limitado de aguas no tratadas, sobre la base de una evaluación de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La calidad de las aguas residuales tratadas para la aplicación sobre el terreno o para otros usos debe respetar las directrices sobre salud pública relevantes de la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>18</sup> y los requisitos nacionales aplicables.

### *Residuos sólidos*

Los sólidos eliminados de los sistemas de recolección y tratamiento de aguas residuales pueden incluir lodos y sólidos procedentes de la limpieza de los sistemas de drenaje y alcantarillado (incluidos sistemas de filtración), sólidos de depuración y lodos procedentes de las distintas operaciones de tratamiento de las aguas residuales.

Las estrategias recomendadas para el manejo de los residuos sólidos incluyen:

- Seleccionar las tecnologías de tratamiento de lodos apropiadas, teniendo en cuenta, por ejemplo, la cantidad y la procedencia de los lodos; los recursos disponibles para gastos de capital, formación, operación y mantenimiento; la disponibilidad de trabajadores cualificados, personal de mantenimiento, etc.; y los métodos de eliminación o los usos finales de los sólidos tratados que se desea. Las tecnologías para el tratamiento de los lodos se discuten en el Anexo A.
- Debe considerarse la posibilidad de aplicación sobre el

aguas grises, como algunos estados norteamericanos (Arizona, Nuevo México, California, New Jersey), Australia (Queensland, New South Wales) o China (Beijing, Tianjin).

<sup>18</sup> Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises de la OMS (2006).

<sup>13</sup> Para un resumen de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales, véase el Anexo A.

<sup>14</sup> Ver, por ejemplo, las regulaciones de la EPA en 40 CFR Parte 133 relativas al tratamiento secundario, y la Directiva del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

<sup>15</sup> Ver Organización Mundial de la Salud, Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff, 1993.

<sup>16</sup> Remítase a la sección titulada "Vertidos a aguas superficiales" de las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

<sup>17</sup> Son pocos los países que han desarrollado una normativa específica para las

terreno o de otro tipo de reutilización beneficiosa de los residuos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, siempre y cuando estas opciones se basen en una evaluación de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. La calidad de los residuos para la aplicación sobre el terreno debe respetar las directrices sobre salud pública relevantes de la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>19</sup> y los requisitos nacionales aplicables.

- El procesamiento, eliminación y reutilización de los residuos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben respetar los requisitos nacionales aplicables o, en ausencia de éstos, las directrices y normas internacionalmente aceptadas<sup>20</sup>.

### *Emisiones a la atmósfera y olores*

Las emisiones a la atmósfera derivadas de las operaciones de tratamiento de aguas residuales pueden incluir sulfuro de hidrógeno, metano, ozono (en el caso de desinfección con ozono), compuestos orgánicos volátiles (procedentes, por ejemplo, de vertidos industriales), sustancias químicas gaseosas o volátiles empleadas en los procesos de desinfección (por ejemplo, cloro y amoníaco) y bioaerosoles (analizados en la Sección 1.2, abajo). Los olores procedentes de las instalaciones de tratamiento también pueden representar una molestia para los trabajadores y para las comunidades cercanas.

Las medidas relacionadas con la gestión de las emisiones a la atmósfera procedentes de los sistemas de tratamiento de agua potable, descritas arriba, suelen ser aplicables también a las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Además, se

recomiendan las siguientes medidas para prevenir, minimizar y controlar las emisiones a la atmósfera y los olores:

- Cubrir los focos de las emisiones (por ejemplo, cuencas de aeración, clarificadores, concentradores de lodos, tanques y canales), y canalizar las emisiones hacia los sistemas de control (por ejemplo, lechos de compost, filtros biológicos, neutralizadores químicos, etc.) en la medida necesaria para reducir los olores o cumplir con los requisitos nacionales aplicables y con las directrices internacionalmente aceptadas
- En caso necesario, considerar el uso de otras tecnologías de aireación o configuraciones del proceso para reducir la volatilización.

### *Sustancias químicas peligrosas*

El tratamiento de aguas residuales a menudo exige emplear sustancias químicas peligrosas, como ácidos y bases fuertes para el control del pH, cloro y otros compuestos utilizados para la desinfección, etc. Los impactos ambientales y las medidas de mitigación descritos arriba para la desinfección durante el tratamiento del agua potable son por lo general aplicables a las operaciones de desinfección en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** proporcionan orientaciones adicionales sobre la gestión de sustancias químicas.

## **1.2 Higiene y seguridad en el trabajo**

Los impactos en la higiene y seguridad en el trabajo durante la construcción y desmantelamiento de las plantas de agua y saneamiento son comunes a los de otros proyectos industriales de gran magnitud y descritos en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Los impactos en la higiene y seguridad en el trabajo asociados con la fase operativa de los proyectos de agua y saneamiento incluyen:

- Accidentes y lesiones

<sup>19</sup> Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises de la OMS (2006).

<sup>20</sup> Ver, por ejemplo, la reglamentación de la EPA en 40 CFR Parte 503—Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge; Directiva del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas; y EPA, Emerging Technologies for Biosolids Management, 832-R-06-005, septiembre de 2006.

- Exposición a sustancias químicas
- Atmósfera peligrosa
- Exposición a agentes patógenos y vectores
- Ruido

## Accidentes y lesiones

El trabajo en las plantas de agua y saneamiento suele requerir cierto esfuerzo físico y puede entrañar peligros tales como las aguas libres, fosas, pasarelas resbaladizas, trabajo en altura, circuitos con corriente y maquinaria pesada. El trabajo en las plantas de agua y saneamiento puede también implicar la entrada a lugares cerrados, incluyendo tapas de acceso, alcantarillas, tuberías, tanques de almacenamiento, pozos húmedos, digestores y estaciones de bombeo. El metano generado a partir de la biodegradación anaeróbica de aguas negras puede provocar incendios y explosiones.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen las medidas de mitigación de accidentes y lesiones. Asimismo, se recomiendan los siguientes procedimientos para prevenir, minimizar y controlar accidentes y lesiones en las plantas de agua y saneamiento:

- Instalar barandillas alrededor de todos los tanques y fosos empleados en el proceso. Exigir el uso de andariveles y flotadores (PFD) siempre que los trabajadores se encuentren en el parapeto y garantizar la disponibilidad inmediata de boyas y cuerdas de rescate
- Emplear PFD cuando se trabaja cerca de cursos de agua
- Implementar un programa de entrada en espacios cerrados que sea coherente con la normativa nacional aplicable y las normas aceptadas internacionalmente<sup>21</sup>. Se cerrarán las válvulas de acceso a los tanques de procesamiento para evitar los desbordamientos

accidentales durante las labores de mantenimiento

- Utilizar equipos de protección contra caídas cuando se trabaje en altura
- Garantizar el adecuado mantenimiento de las zonas de trabajo para minimizar el riesgo de resbalones y tropiezos;
- Utilizar las técnicas adecuadas de excavación de zanjas y apuntalamiento
- Implementar medidas de prevención de incendios y explosiones de acuerdo con las normas reconocidas internacionalmente<sup>22</sup>
- Durante la instalación y reparación de los conductos adyacentes a las carreteras, implementar procedimientos y controles de tráfico tales como:
  - El establecimiento de zonas de trabajo que mantengan tan separados como sea posible a los trabajadores del tráfico y de los equipos
  - Reducir la velocidad permitida a los vehículos en las zonas de trabajo
  - Los trabajadores emplearán indumentaria de seguridad de alta visibilidad en las proximidades del tráfico.
  - Para el trabajo nocturno, proporcionar un adecuado alumbrado de la zona de trabajo, al tiempo que se controla el deslumbramiento para no cegar a los trabajadores y transeúntes
- Localizar todos los recursos subterráneos antes de proceder a la excavación

## Exposición a sustancias químicas y atmósferas peligrosas

El tratamiento de las aguas residuales requiere la utilización de sustancias potencialmente peligrosas, incluidos ácidos y bases fuertes, cloro, sodio e hipoclorito de calcio, y amoníaco. El agua

<sup>21</sup> Ver por ejemplo las normas de la Administración de la Seguridad y Salud Ocupacionales de Estados Unidos en el 29 CFR 1910, subapartado J.

<sup>22</sup> Ver por ejemplo la National Fire Protection Association (NFPA) 820: Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities.

puede contener sustancias radioactivas y metales pesados que suelen acumularse en los lodos procedentes del tratamiento del agua. Las fuentes potenciales de exposición a los radionucleidos incluyen: bombas y tuberías donde se acumulan incrustaciones minerales; lagunas, y tanques de floculación y sedimentación donde se acumulan lodos residuales; filtros, estaciones de bombeo y tanques de almacenamiento donde se acumulan incrustaciones y lodos; instalaciones en las cuales se acumulan agua de lavado de filtros, salmueras y otras acumulaciones de agua contaminada; instalaciones cerradas (radón); zonas de procesamiento o manipulación de residuos; y zonas de deposición o aplicación en tierra donde los residuos se mueven con palas, se transportan o se eliminan.

Las aguas residuales pueden contener sustancias químicas potencialmente peligrosas dependiendo de la calidad del agua original, del proceso de tratamiento de agua potable y de las industrias cuyos vertidos vayan a parar a la alcantarilla, incluidos disolventes orgánicos clorados y plaguicidas, PCB, hidrocarburos aromáticos policíclicos, hidrocarburos de petróleo, agentes ignífugos, nitrosaminas, metales pesados, asbestos, dioxinas y materiales radioactivos. Además, los trabajadores pueden estar expuestos al ácido sulfhídrico, el metano, el monóxido de carbón, cloroformo y otras sustancias químicas generadas durante el tratamiento de aguas residuales. El oxígeno puede desplazarse o ser consumido por microorganismos, lo que se traduce en un medio ambiente deficiente en términos de oxígeno en las zonas de procesamiento de aguas residuales.

Una cuidadosa manipulación y almacenamiento de las sustancias químicas peligrosas atendiendo a las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** y a la Sección 1.1 del presente documento ayudará a minimizar los riesgos potenciales para los trabajadores. Además, se recomiendan las siguientes medidas para prevenir, minimizar y controlar la exposición a sustancias químicas en las

instalaciones de agua y saneamiento:

- Implementar un programa de capacitación sobre prácticas seguras de manipulación y procedimientos de respuesta ante emergencias para aquellos empleados que trabajen con cloro y amoníaco
- Proporcionar equipos de protección personal adecuados (incluidos, por ejemplo, equipos de oxígeno autónomos) y capacitación para su correcto uso y mantenimiento.
- Elaborar planes de huida de las zonas donde pueda producirse una emisión de cloro o amoníaco
- Instalar duchas de seguridad y puestos para el lavado de los ojos en los lugares cercanos a los equipos de cloro y amoníaco y demás zonas donde se almacenen o utilicen sustancias químicas peligrosas
- Cuando el agua inicial contenga sustancias radioactivas, ubicar las unidades de tratamiento de agua y zonas de lodos procedentes del mismo tan lejos como sea posible de las zonas comunes (por ejemplo, las oficinas)
- Llevar a cabo controles de radiación al menos una vez al año, especialmente en aquellos lugares donde se eliminan radionucleidos
- Limitar la entrada de residuos en el sistema de alcantarillado a aquéllos que puedan tratarse de forma efectiva en las plantas de tratamiento de aguas residuales y reducir la cantidad de compuestos peligrosos rectificables con aire y entran en el sistema controlando las descargas industriales (por ejemplo, mediante permisos o procedimientos similares). Analizar las aguas residuales entrantes sin tratar para identificar los constituyentes peligrosos
- Ventilar las zonas de procesamiento cerradas y los equipos, por ejemplo, las estaciones de bombeo, antes de proceder al mantenimiento
- Emplear equipos personales de detección de gases cuando se trabaje en una planta de aguas residuales

- Supervisar de forma continuada la calidad del aire en las zonas de trabajo para comprobar la existencia de condiciones peligrosas (por ejemplo atmósferas explosivas, carencia de oxígeno)
- Tomar muestras periódicas de la calidad del aire en las zonas de trabajo para comprobar la presencia de sustancias químicas peligrosas. Cuando así lo requiera la normativa nacional o internacional sobre salud en el trabajo, instalar controles de ingeniería para limitar la exposición de los trabajadores, por ejemplo la recolección y tratamiento de gases residuales procedentes de la rectificación con aire
- Establecer la prohibición de comer, fumar y beber en todos los lugares a excepción de las zonas designadas para ello
- Rotar al personal en las distintas operaciones realizadas en la planta de tratamiento para reducir la inhalación de sustancias químicas rectificadas con aire, aerosoles y otras sustancias potencialmente peligrosas.

### Patógenos y vectores

Los trabajadores y el personal de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y lodos y de los campos en que se aplican las aguas residuales o lodos tratados, así como los conductores de vehículos de recolección de lodos, pueden estar expuestos a los muchos agentes patógenos contenidos en las aguas negras. El procesamiento de aguas negras puede generar aerosoles biológicos, que son partículas suspendidas en el aire y compuestas parcial o totalmente por microorganismos tales como bacterias, virus, mohos y hongos. Estos microorganismos pueden permanecer suspendidos en el aire durante largos períodos de tiempo, conservando su viabilidad o infecciosidad. Los trabajadores pueden estar asimismo expuestos a endotoxinas, que se producen dentro de un microorganismo y se liberan al desencadenarse la destrucción de la célula, pudiendo ser transportadas en las partículas aéreas de polvo. Los vectores para los patógenos de

las aguas negras incluyen insectos (por ejemplo moscas), roedores (por ejemplo ratas) y aves (por ejemplo gaviotas)<sup>23</sup>.

Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar la exposición a los patógenos y vectores incluyen:

#### *Tratamiento de aguas residuales y lodos*

- Incluir en el programa de formación en seguridad de los trabajadores la manipulación segura y prácticas de higiene personal que minimicen la exposición a patógenos y vectores
- Utilizar camiones o remolques dotados con bombas de vacío para la retirada de lodos fecales en lugar de emplear métodos manuales
- Proporcionar y exigir el uso de la indumentaria de protección personal adecuada para evitar el contacto con las aguas residuales (por ejemplo, guantes de goma, mandiles, botas, etc.). Proporcionar sobre todo asistencia médica inmediata y cubrir cualquier lesión dérmica, como por ejemplo cortes y abrasiones, para prevenir la infección, y emplear indumentaria y gafas protectoras para evitar el contacto con pulverizadores y salpicaduras
- Proporcionar zonas para que los trabajadores puedan ducharse y cambiarse de ropa antes de abandonar el lugar de trabajo, así como un servicio de lavandería para la indumentaria de trabajo. Esta práctica también contribuye a minimizar la exposición a las sustancias químicas y radionucleidos
- Fomentar el lavado frecuente de manos entre los trabajadores de las plantas de aguas residuales
- Vacunar a los trabajadores (por ejemplo de hepatitis B y tétano) y supervisar su estado de salud, incluyendo exámenes médicos periódicos

<sup>23</sup> Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Environmental Regulations and Policy Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage), en 40 CRF Parte 503, EPA/625/R-92/013, Revisado en julio de 2003.  
<http://www.epa.gov/ord/NRMRL/Pubs/1992/625R92013.pdf>.

- Reducir la formación y distribución de aerosoles por ejemplo:
  - Plantar árboles alrededor de la cuenca de aireación para proteger la zona del viento y captar gotículas y partículas
  - Emplear la aeración difusa en lugar de mecánica y utilizar burbujas más pequeñas durante la misma
  - Siempre que sea posible, reducir la tasa de aeración
  - Utilizar cubiertas flotantes sobre el licor mixto en la cuenca de aeración
  - Eliminar las gotículas en la superficie (por ejemplo instalando una pantalla o malla sobre la cuenca)
  - Efectuar la recolección de gotículas (por ejemplo mediante sedimentación, lavadores, precipitadores electrostáticos o filtros textiles)
  - Desinfección de las partículas aéreas (por ejemplo, empleando rayos ultravioleta)
  - Utilizar colectores sumergidos de efluentes (tales como tuberías con orificios) en lugar de vertederos
- Evitar la manipulación directa de los residuos de cribado para prevenir las lesiones producidas por pinchazos
- Garantizar un buen mantenimiento de las zonas destinadas al procesamiento y almacenamiento de aguas negras
- Recomendar a los individuos que padezcan asma o diabetes, o con sistemas inmunodeprimidos, que no trabajen en plantas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en aquellas dedicadas al compostaje dado su mayor riesgo de infección.

#### *Aplicación sobre el terreno*

- Considerar el empleo del riego por goteo con aguas residuales tratadas, lo que minimiza la exposición de los trabajadores y la cantidad de agua requerida. Siempre que sea posible, evitar el uso del riego por aspersión con aguas residuales tratadas

- Dotar a los trabajadores sobre el terreno de equipos de protección personal, como por ejemplo guantes de goma y calzado impermeable
- Proporcionar acceso a plantas seguras de agua potable y saneamiento (incluido el lavado de manos)
- Realizar un seguimiento del estado de salud de los trabajadores, incluyendo exámenes físicos periódicos
- Controlar vectores y huéspedes intermedios.

### **Ruido**

Pueden registrarse altos niveles de ruido en la proximidad de la maquinaria en funcionamiento y el agua corriente en las plantas de agua y saneamiento. Los impactos y las medidas de mitigación son similares a las de otras plantas industriales, descritos en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

### **1.3 Higiene y seguridad en la comunidad**

Los impactos en la higiene y seguridad en la comunidad durante la construcción de proyectos de agua y saneamiento, incluidos algunos comunes a otros sectores de la industria y por consiguiente descritos en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. Los impactos sobre la higiene y la seguridad en la comunidad asociados con la operación de proyectos de agua y saneamiento se describen a continuación por separado.

#### **1.3.1 Agua potable**

##### **Toma de agua (protección del suministro de agua)**

El suministro tanto de aguas superficiales como de aguas subterráneas puede contaminarse con sustancias potencialmente tóxicas de origen natural y antropogénico, incluidos patógenos, metales tóxicos (por ejemplo arsénico),

aniones (por ejemplo nitrato) y compuestos orgánicos. Dicha contaminación puede ser de origen natural, acciones o vertidos rutinarios (por ejemplo, descargas dentro de los límites permitidos), accidentales (por ejemplo, de vertidos) o intencionados (por ejemplo, sabotajes).

Las medidas recomendadas para proteger la calidad del suministro de agua incluyen<sup>24</sup>:

- Delimitar la zona que aporte agua a la fuente (por ejemplo la cuenca de una corriente o zona de recarga para aguas subterráneas); identificar las posibles causas de la contaminación en el área y colaborar con las autoridades públicas en la implementación de enfoques de gestión dirigidos a proteger la calidad del agua original, como por ejemplo:
  - Ordenanzas de zonificación
  - Programa de inspección de plantas y de control de sustancias peligrosas
  - Informar a las empresas sobre los requisitos aplicables
  - Lista de comprobación de permisos ambientales para las nuevas empresas
  - Seguimiento estratégico de la zona
  - Elaboración e implementación de campañas educativas para fomentar las mejores prácticas de gestión que reduzcan el riesgo de contaminación del agua
  - Incorporación de la protección de las aguas superficiales en la planificación regional del suelo
- Evaluar la vulnerabilidad de la fuente de agua frente a las disrupciones o los fenómenos naturales e implementar las

<sup>24</sup> Para más información sobre la protección de la calidad de los recursos hídricos, ver las numerosas publicaciones relativas a la implementación de la Directiva 91/676/CEE del Consejo de la Unión Europea de 12 de diciembre de 1991 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (conocida como la Directiva sobre Nitratos) y la Directiva 91/271/CEE (tratamiento de las aguas residuales urbanas), disponible en [http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/91\\_676\\_eec\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/pdf/91_676_eec_es.pdf).

medidas de seguridad necesarias, tales como:<sup>25</sup>

- Comprobar de forma continuada los parámetros indirectos de valoración (tales como pH, conductividad, carbono orgánico total [COT] y toxicidad) en el agua no tratada
- Inspeccionar el emplazamiento de forma aleatoria en el tiempo
- En el caso de los embalses y lagos, implementar un programa de vigilancia vecinal con los empleados en los parques y otros usuarios comunitarios del embalse/lago
- Equipar las bocas de pozo con alarmas anti-intrusión

## Tratamiento de agua

Los impactos más significativos para la salud y la seguridad de la comunidad asociados al tratamiento de agua incluyen:

- Calidad y suministro del agua potable
- Sustancias químicas peligrosas

### *Calidad y suministro del agua potable*

El suministro de agua potable limpia es un elemento esencial para la salud e higiene de la comunidad. Las medidas recomendadas relacionadas con el tratamiento del agua incluyen:

- Asegurar que la capacidad de tratamiento es adecuada para cubrir la demanda prevista
- Construir, operar y mantener la instalación de tratamiento de agua de acuerdo con los requisitos nacionales aplicables y con las normas internacionalmente aceptadas<sup>26</sup> para así cumplir las normas nacionales de calidad y, en ausencia de éstas, las Guías para la Calidad

<sup>25</sup> Ver por ejemplo la American Water Works Association Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities, 9 de diciembre de 2004.

<sup>26</sup> Ver por ejemplo la American Water Works Association Standard G100-05: Water Treatment Plant Operation and Management.

del Agua Potable de la OMS<sup>27</sup>

- Evaluar la vulnerabilidad del sistema de tratamiento e implementar medidas de seguridad adecuadas, tales como<sup>28</sup>:
  - Comprobación de los antecedentes de los empleados
  - Perímetro de seguridad y vigilancia por video
  - Mejorar el suministro eléctrico de las instalaciones. Los sistemas eléctricos redundantes reducen notablemente la vulnerabilidad al riesgo de las operaciones esenciales

### *Sustancias químicas peligrosas*

Las Secciones 1 y 2 describen las sustancias químicas peligrosas asociadas al tratamiento del agua potable y las medidas de mitigación para minimizar los posibles impactos en el medio ambiente y los trabajadores, respectivamente. Ante un caso más desfavorable de vertido que afecte al público general, elaborar e implementar un programa de prevención de vertidos para riesgos mayores descrito en las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**. El programa de prevención debe incluir la identificación de peligros, procedimientos operativos por escrito, formación, mantenimiento, investigación de accidentes y un plan de respuesta ante emergencias.

### **Distribución de agua**

El sistema de distribución de agua es un elemento esencial para el suministro de agua potable segura. Incluso en el caso de que el agua haya sido efectivamente tratada para eliminar de ella las sustancias contaminantes y destruir los patógenos, pueden darse brotes de enfermedades acuáticas si el sistema de distribución de agua presenta deficiencias. Las medidas recomendadas para prevenir o minimizar los riesgos

potenciales para la salud de las comunidades asociados al sistema de distribución de agua incluyen:

- Construir, operar y gestionar el sistema de distribución de agua de acuerdo con los requisitos nacionales aplicables y con las normas internacionalmente aceptadas<sup>29</sup>
- Construir y mantener el sistema de distribución de modo que actúe como una barrera e impida que la contaminación externa penetre en el sistema de agua aplicando, por ejemplo, las siguientes medidas:
  - Inspeccionar las instalaciones de almacenamiento periódicamente, y rehabilitar o sustituir estas instalaciones cuando sea necesario. Esto puede implicar el drenaje y la eliminación de sedimentos, aplicando tratamientos anticorrosivos y reparando estructuras
  - Asegurar que la instalación, reparación, sustitución y rehabilitación se ajusta a los requisitos de protección sanitaria y calidad de los materiales
  - Probar los materiales, suelo y calidad del agua e implementar las mejores prácticas para prevenir la corrosión, como por ejemplo la protección catódica
  - Prevenir las conexiones cruzadas con los sistemas de alcantarillado
  - Separar las tuberías de agua y los conductos de presión de alcantarilla (por ejemplo, con una separación de al menos 10 pies o bien en fosas separadas, situando el conducto de alcantarilla al menos 18 pulgadas por debajo del conducto del agua)
- Mantener una adecuada presión del agua y flujo en todo el sistema, aplicando, por ejemplo, las siguientes medidas:
  - Aplicar un programa de detección y reparación de fugas (ver sección 1.1)
  - Reducir el tiempo de residencia en las tuberías

<sup>27</sup> Ver la página web de la OMS en <http://www.who.int> para la versión más actualizada de las Guías para la calidad del agua potable.

<sup>28</sup> Ver, por ejemplo, American Water Works Association Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities, del 9 diciembre de 2004.

<sup>29</sup> Ver, por ejemplo, American Water Works Association Standard G200-04: Distribution Systems Operation and Management.

- Mantener una presión residual positiva de al menos 20 libras por pulgada cuadrada (psi)<sup>30</sup>
- Supervisar parámetros hidráulicos, tales como flujos de entrada y salida y niveles del agua en todos los tanques de almacenamiento, flujos de descarga y presión de las bombas, flujos y/o válvulas de regulación, incluida la presión en puntos críticos, y emplear la fijación de modelos de sistemas para evaluar la integridad hidráulica del sistema
- Evitar la introducción de contaminantes procedentes del propio sistema de distribución mediante, por ejemplo, las siguientes medidas:
  - Minimizar la flora microbiana y el desarrollo de biopelículas (por ejemplo garantizando los niveles de desinfección residual adecuados). Recoger muestras en distintas ubicaciones dentro del sistema de distribución, incluidos los puntos más alejados, y comprobar la presencia de cloro residual libre y combinado para garantizar un adecuado nivel de cloro residual
  - Elegir un desinfectante residual (por ejemplo cloro o cloraminas) para compensar el control de patógenos y la formación de sustancias derivadas potencialmente peligrosas de la desinfección<sup>31</sup>
  - Emplear materiales de construcción que no contribuyan al vertido de metales y otras sustancias no deseadas o que interactúen con los desinfectantes residuales

<sup>30</sup> National Research Council of the National Academies, Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks, The National Academies Press, 2006, pág. 9.

<sup>31</sup> Los desinfectantes químicos pueden reaccionar en presencia de precursores orgánicos e inorgánicos formando derivados potencialmente peligrosos. Los productos derivados de la desinfección (DBP) pueden controlarse mediante el control y la eliminación de los precursores de DBP o la práctica de desinfección modificada. No obstante, los riesgos para la salud procedentes de estos subproductos a los niveles registrados para el agua potable son extremadamente reducidos en comparación con los riesgos asociados con una desinfección inadecuada.

### 1.3.2 Saneamiento

Las medidas destinadas a minimizar los riesgos potenciales para la salud de la comunidad pueden implementarse tanto en la recolección como en el tratamiento de aguas residuales y lodos.

#### Recolección de aguas residuales y residuos sépticos

La recolección de aguas negras y su traslado fuera de las áreas residenciales, aunque no es una medida suficiente para proteger la salud pública, es por lo general el aspecto más importante del saneamiento. Así pues, la prestación de servicios de recolección, o la garantía de que dichos servicios están disponibles, es una de las preocupaciones esenciales. Un diseño y un funcionamiento efectivos del sistema de alcantarillado, tal y como se ha visto en la Sección 1.1, pueden minimizar los posibles impactos para la comunidad y la salud de la recolección de las aguas residuales y lodos no tratados, por ejemplo:

- Evitando desbordamientos en el sistema de alcantarillado
- Evitando la formación de gases potencialmente tóxicos y explosivos en la alcantarilla

#### Tratamiento de aguas residuales y lodos

Los impactos potenciales para la higiene y la salud de la comunidad asociados con las instalaciones de tratamiento de aguas residuales y lodos incluyen:

- Efluentes líquidos
- Emisiones a la atmósfera y olores
- Peligros físicos

#### *Efluentes líquidos*

Las aguas residuales tratadas suelen verterse en aguas superficiales o reutilizarse para el riego o para otras

finalidades. En muchos casos, es probable el contacto humano directo o indirecto con las aguas residuales tratadas. Por lo tanto, un adecuado tratamiento de las aguas residuales para eliminar los contaminantes y, especialmente, microorganismos y patógenos, tal y como se ha descrito en la Sección 1.1, es importante no sólo para evitar impactos perjudiciales sobre el medio ambiente, sino también para proteger la salud pública.

### *Emisiones a la atmósfera y olores*

Los olores procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden representar una molestia para la comunidad vecina. Los aerosoles biológicos pueden asimismo contener microorganismos causantes de enfermedades. Además, los vertidos de gases peligrosos como el cloro podrían afectar negativamente a los residentes de la zona.

Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** y las Secciones 1.1 y 1.2 describen los controles de emisiones y olores. Además, se recomiendan las siguientes medidas para prevenir, minimizar y controlar la exposición de la comunidad al polvo y los olores procedentes de las instalaciones de manejo del agua:

- Proporcionar zonas de aislamiento adecuadas, tales como árboles o vallas, entre las zonas de procesamiento y los receptores potenciales
- Evitar la ubicación de las instalaciones en lugares próximos a barrios densamente poblados y centros que alberguen a receptores potencialmente sensibles, como hospitales y colegios. Ubicar siempre que sea posible las instalaciones en lugares a favor del viento con respecto de los receptores potenciales.

### *Peligros físicos*

Los visitantes e intrusos de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden verse expuestos a muchos de los riesgos que afectan a los trabajadores de dichas plantas, descritos en la

Sección 1.2. Las medidas recomendadas para prevenir, minimizar y controlar los riesgos físicos a los que están expuestas las comunidades incluyen:

- Restringir el acceso a las instalaciones de gestión de residuos aplicando procedimientos de seguridad como:
  - El perímetro de seguridad tendrá una altura adecuada y levantada con material apropiado, con una puerta de acceso cerrada con llave
  - Cámaras de seguridad en los principales puntos de acceso, y alarmas de seguridad colocadas en edificios y zonas de almacenamiento
  - Utilización de un registro de visitantes
- Iluminar el lugar cuando sea necesario. Dado que esto puede causar molestias a los vecinos, las instalaciones de luz elegidas deben tratar de minimizar la contaminación lumínica.

### **Aplicación sobre el terreno**

La utilización de aguas residuales tratadas en la agricultura puede plantear riesgos de salud pública. Los riesgos asociados a los cultivos regados con aguas residuales tratadas incluyen patógenos relacionados con las excretas y sustancias químicas tóxicas que pueden hallarse en las aguas residuales. Para proteger a los consumidores se recomiendan los siguientes métodos<sup>32</sup>:

- Tratar las aguas residuales y los lodos empleados para la aplicación sobre el terreno de una forma que sea coherente con las Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises<sup>33</sup> y con los requisitos nacionales aplicables
- Detener el riego con aguas residuales tratadas dos

<sup>32</sup> Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises de la OMS (2006).

<sup>33</sup> Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises de la OMS (2006).

semanas antes de la cosecha

- Limitar el riesgo con aguas residuales tratadas a aquellos cultivos que se cocinan antes de consumirse
- Restringir el acceso público a las estructuras hidráulicas que transportan aguas residuales y a los terrenos regados con aguas residuales tratadas.

## 2.0 Indicadores de desempeño y valores de referencia de la industria

### 2.1 Medio ambiente

#### Guías

##### *Agua potable*

La calidad de los sistemas de abastecimiento de agua potable debería cumplir las normas sobre el agua potable especificadas en la legislación nacional o, en ausencia de éstas, las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) más recientes<sup>34</sup> en toda la red de distribución.

##### *Saneamiento*

Guías sobre efluentes: la elección de la tecnología y el diseño del tratamiento de las aguas residuales comienzan determinando el nivel y tipo de tratamiento requerido. Las guías sobre efluentes específicas de cada proyecto para proyectos de saneamiento deben establecerse sobre la base de una clara definición de los objetivos de salud y una evaluación comprensiva de las alternativas, teniendo en cuenta las tecnologías de tratamiento apropiadas; la calidad y cantidad de aguas residuales no tratadas y su variabilidad; la superficie de tierra disponible para la instalación de tratamiento; los recursos para los gastos de capital, capacitación, funcionamiento, mantenimiento y reparación; y la disponibilidad de trabajadores cualificados, personal de mantenimiento, sustancias químicas para el tratamiento y repuestos.

El enfoque elegido debe lograr una calidad de las aguas residuales que cumpla con los requisitos nacionales aplicables

o con las normas internacionalmente aceptadas<sup>35</sup> y fijar unos objetivos de calidad de las aguas residuales basados en la capacidad de asimilación y el uso final más sensible de las aguas receptoras<sup>36,37</sup>.

Las normas sobre tratamiento son normas tecnológicas, que especifican las tecnologías o procesos de tratamiento que deben utilizarse para cumplir los objetivos de calidad del agua, o bien normas sobre efluentes, que especifican la calidad física, biológica y química del efluente que se producirá con el tratamiento. Las normas sobre efluentes establecen a menudo límites sobre las concentraciones permitidas de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos en suspensión totales (SST), nitrógeno, fósforo, etc.

##### Reutilización de aguas residuales tratadas y manejo de lodos:

La calidad de las aguas residuales tratadas y lodos para la aplicación sobre el terreno debe respetar las Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises de la OMS<sup>38</sup> y los requisitos nacionales aplicables. El impacto potencial sobre el suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales, en el contexto de la protección, conservación y sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos y terrestres debe evaluarse en caso de que la tierra se utilice como parte de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de residuos deben ser evaluados uno por uno para determinar si constituyen o no

<sup>34</sup> La versión de 2006 de las guías sobre el agua potable está disponible en: [http://www.who.int/water\\_saneeamiento\\_health/dwg/guidelines/en/index.html](http://www.who.int/water_saneeamiento_health/dwg/guidelines/en/index.html)

<sup>35</sup> Ver por ejemplo Brasil: Resolución Conama n° 357, 17 de marzo de 2005; Unión Europea: Directiva del Consejo 91/271/CEE de 21 de mayo de 1991 relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas; Estados Unidos: Agencia de Protección Ambiental, 40 CFR Parte 133 – Secondary Treatment Regulation (Edición del 7-1-02); México: Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996; China: GB 18918-2002 Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant; India: National Standards for Effluents and Emission, Sección 25 de la Ley (de Protección) Ambiental de 1986, General Standards for Discharge of Environmental Pollutants, Parte A – Effluents.

<sup>36</sup> Ver la Organización Mundial de la Salud, Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff, 1993.

<sup>37</sup> Ver la sección sobre "Vertidos a aguas superficiales" de las **guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad**.

<sup>38</sup> OMS, 2006.

residuos peligrosos y gestionarlos como corresponda, tal y como se describe en la sección dedicada al manejo de residuos de este documento.

## Seguimiento ambiental

Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas aquellas actividades identificadas por su potencial impacto significativo en el medio ambiente, durante las operaciones normales y en condiciones alteradas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

La frecuencia del seguimiento debería permitir obtener datos representativos sobre el parámetro objeto del seguimiento, utilizando normas y procedimientos internacionalmente reconocidos. El seguimiento deberá recaer en individuos formados, quienes deberán aplicar los procedimientos de seguimiento y registro y utilizar un equipo adecuadamente calibrado y mantenido. Los datos de seguimiento se analizarán y revisarán con regularidad, y se compararán con las normas vigentes para así adoptar las medidas correctivas necesarias. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes<sup>39</sup>.

## 2.2 Higiene y seguridad en el trabajo

### Guías sobre higiene y seguridad en el trabajo

Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las guías sobre exposición que se publican en el ámbito internacional, entre ellas: las Guías sobre la concentración máxima admisible de exposición profesional

<sup>39</sup> Para más información sobre la supervisión del desempeño de los sistemas de agua y saneamiento, consultar Water Quality Management Technical Note D.1, del Banco Mundial - Water Quality: Assessment and Protection, 2003. Disponible en: <http://web.worldbank.org/> (Water Resource Management Section; publications).

(TLV®) y los índices biológicos de exposición (BEIs®) publicados por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)<sup>40</sup>, la Guía de bolsillo sobre riesgos químicos publicada por el Instituto Nacional de Higiene y Seguridad del Trabajo de los Estados Unidos (NIOSH)<sup>41</sup>, los límites permisibles de exposición publicados por la Administración de Seguridad e Higiene en el Trabajo de los Estados Unidos (OSHA)<sup>42</sup>, los valores límite indicativos de exposición profesional publicados por los Estados miembros de la Unión Europea<sup>43</sup> u otras fuentes similares.

### Tasas de accidentes y letalidad

Deben adoptarse medidas para reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar una pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad o incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas del proyecto puede utilizarse el desempeño de instalaciones en este sector en países desarrollados, que se obtiene consultando las fuentes publicadas (por ejemplo, a través de la Oficina de Estadísticas Laborales de los Estados Unidos y el Comité Ejecutivo de Salud y Seguridad del Reino Unido)<sup>44</sup>.

### Seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo

Es preciso realizar un seguimiento de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados con experiencia en el

<sup>40</sup> Disponible en: <http://www.acgih.org/TLV/>

<sup>41</sup> Disponible en: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

<sup>42</sup> Disponible en:

[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_table=STANDAR DS&p\\_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDAR DS&p_id=9992)

<sup>43</sup> Disponible en: [http://europe.osha.eu.int/good\\_practice/risks/ds/oel/](http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/)

<sup>44</sup> Disponible en <http://www.bls.gov/iif/> y <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

sector de agua y saneamiento como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y enfermedades laborales así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

### 3.0 Referencias y fuentes adicionales

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 1999. Combined Sewer Overflow O&M Fact Sheet. EPA 832-F-99-039. Septiembre de 1999.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). Federal Register / Vol. 66, No. 243, National Pollutant Discharge Elimination System: Regulations Addressing Cooling Water Intake Structures for New Facilities, 18 de diciembre de 2001 pp. 65256 – 65345.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). 2006. Emerging Technologies for Biosolids Management. 832-R-06-005. Septiembre de 2006.

American Water Works Association. 2004. Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities. 9 de diciembre de 2004.

American Water Works Association. 2004. Interim Voluntary Security Guidance for Wastewater/Storm water Utilities. 9 de diciembre de 2004.

Banco Mundial. 2004. Estrategia sectorial en materia de recursos hídricos.

Banco Mundial, 2005. Tecnologías alternativas para la provisión de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades. Programa de Agua y Saneamiento. Abril de 2005.

Brown, Nellie J. 1997. Health Hazard Manual: Wastewater Treatment Plant and Sewer Workers-- Exposure to chemical hazards and biohazards, Cornell University Chemical Hazard Information Program, Ithaca, NY, 1 de diciembre de 1997.

Cairncross y Feachem, 1993. Environmental Health Engineering in the Tropics, An Introductory Text. (2ª edición). John Wiley and Sons.

Federación de Municipios Canadienses (Federation of Canadian Municipalities). 2003. Infiltration/Inflow Control/Reduction for Wastewater Collection Systems: A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide). Marzo de 2003.

Federación de Municipios Canadienses. 2004. Assessment and Evaluation of Storm and Wastewater Collection Systems: A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide). Julio de 2004.

Heinss y Strauss. 1999. Co-treatment of Faecal Sludge and Wastewater in Tropical Climates. Report EAWAG/SANDEC, P.O. Box 611, CH-8600 Dübendorf, Suiza, enero de 1999

Instituto Medioambiental de Estocolmo. 2004. Ecological Sanitation.

Kayombo et al. Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual. Disponible en: [http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Water\\_Saneamiento/estanques\\_and\\_wetlands/Design\\_Manual.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Water_Saneamiento/estanques_and_wetlands/Design_Manual.pdf)

Monangero y Strauss. 2002a. . Faecal Sludge Management – Review of Practices, Problems and Initiatives. Disponible en: [http://www.sandec.ch/FaecalLodos/Documents/FS\\_management\\_\(SANDEC\\_GHK\\_2002\).pdf](http://www.sandec.ch/FaecalLodos/Documents/FS_management_(SANDEC_GHK_2002).pdf)

Monangero y Strauss. 2002b. Faecal Sludge Treatment. Lecture Notes, IHE Delft, 14 de febrero de 2002.

Morel y Diener. 2006. Greywater Management in Low- and Middle-Income Countries. Sandec (Water and Sanitation in Developing Countries) at Eawag (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology)

OMS. 2000. Herramientas para evaluar las condiciones de O&M del abastecimiento de agua y saneamiento en países en desarrollo. WHO/SDE/WSH/00.3.

OMS. 2003. Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff.

OMS. 2006. Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]: incluida la primera adenda. Vol. 1, Recomendaciones. – 3º ed.

OMS. 2006. Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises.

OMS. 2003. La cantidad de agua domiciliar, el nivel del servicio y la salud. WHO/SDE/WSH/03.02.

Peña Varón y Mara. 2004. Waste Stabilization Ponds. IRC International Water and Saneamiento Centre Thematic Overview Papers.

Swiss Federal Institute for Env. Science & Technology. 2001. Nam Dinh Urban Development Project Septage Management Study. 1 de noviembre de 2001.

Swiss Federal Institute for Env. Science & Technology. 2002. Faecal Lodos Management in Developing Countries: A planning manual. Abril de 2002.

UNEP. 2000. International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Wastewaters and Stormwater Management.

Wagner EG y Lanoix JN. Excreta disposal for rural areas and small communities. WHO monograph series No. 39. OMS, Ginebra. 1958.

Water Environment Federation. 1996. Developing Source Control Programs for Commercial and Industrial Wastewaters.

Water Resources and Environment Technical Note D.1 - Water Quality Management: Assessment and Protection

Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University. Technical Brief 37: Re-Use of Wastewaters. Disponible en: <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/37-re-use-of-aguas-residuales.pdf>.

World Bank Water Resources and Environment Technical Note C.1 – Environmental Flow Assessment: Concepts and Materials

World Bank, Arsenic Contamination of Groundwater in South and East Asian Countries: Towards a More Effective Operational Response, April 2005 <http://siteresources.worldbank.org/INTSAREGTOPWATRES/Resources/Arsenic>

Voll\_WholeReport.pdf

World Bank, Water Resources and Environment Technical Note D.2 -

World Bank, Water Resources and Environment Technical Note D.3-

World Bank, Water Resources and Environment, Technical Note F.1- Water Conservation: Urban Utilities

World Bank, Water Resources and Environment, Technical Note F.3-

World Bank. 2005. Sanitation and Hygiene at the World Bank: An Analysis of Current Activities. Water and Sanitation Sector Board Working Note, Document No. 6, noviembre de 2005.

Unión Europea. Directiva del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE).

Unión Europea. Directiva del Consejo de 12 de diciembre de 1991 relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (91/676/CEE).

Unión Europea. Directiva del Consejo de 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (98/83/CE).

## Anexo A: Descripción general de las actividades de la industria

### A.1 Abastecimiento de agua potable

El acceso a agua de calidad adecuada es esencial para la salud y la higiene públicas<sup>45</sup>. Los sistemas de abastecimiento de agua potable incluyen por lo general los siguientes elementos:

- Fuentes de agua tales como ríos, lagos, embalses o acuíferos de aguas subterráneas donde se recogen las aguas, así como cuencas circundantes o zonas de recarga que suministran agua a la fuente y constituyen un medio para la extracción y transporte de agua desde la fuente hasta el lugar de tratamiento
- Una planta de tratamiento para purificar el agua
- Instalaciones para el almacenamiento del agua tratada y un sistema de distribución para transportar este agua desde su lugar de almacenamiento hasta su lugar de consumo (en viviendas, bocas antiincendios, puntos de uso industrial, etc)

#### Fuentes de agua

Las fuentes tradicionales para el tratamiento de agua potable son las aguas subterráneas y las aguas superficiales. Cuando no se dispone de aguas superficiales o subterráneas de calidad adecuada, puede recurrirse a otras fuentes (como el agua de mar, el agua salobre, etc.) para producir agua potable<sup>46</sup>.

Aguas subterráneas: las aguas subterráneas se recargan en la

<sup>45</sup> El acceso al agua incluye el volumen de agua disponible y las distancias y tiempo implicados en su recolección. La Organización Mundial de la Salud ha definido el acceso básico al agua como el volumen situado en torno a los 20 litros per cápita al día (L/c/d) disponibles a una distancia de entre 100 y 1.000 metros o de 5 a 30 minutos en total para su recolección, lo que suele bastar para satisfacer las necesidades básicas de consumo, lavado de manos y preparación de los alimentos. El acceso óptimo se define por un volumen de 100 L/c/d o más canalizados directamente al usuario, lo que satisface las necesidades de lavandería y aseo personal además de las necesidades básicas. Ver OMS, La cantidad de agua domiciliaria, el nivel del servicio y la salud, 2003, WHO/SDE/WSH/03.02.

<sup>46</sup> La recolección agua mediante la condensación de la humedad en el aire también es factible, aunque sus aplicaciones prácticas son limitadas.

superficie y fluyen a ella de forma natural, proporcionando un embalse a largo plazo en el ciclo natural del agua, con tiempos de residencia que pueden ser de días y hasta milenios. La calidad de las aguas subterráneas varía en función de su procedencia, aunque por lo general tienen una buena claridad, dado que el filtrado natural de las aguas subterráneas incluye el paso a través de varias capas de suelo poroso. Por lo general, las aguas subterráneas profundas tienen menores concentraciones de bacterias patógenas, pero pueden ser ricas en sólidos disueltos, especialmente carbonatos y sulfatos de calcio y de magnesio. La calidad bacteriana de las aguas subterráneas más superficiales puede variar en función de la naturaleza de la zona de recarga. Estas aguas pueden contener diversos materiales solubles, incluidos metales potencialmente tóxicos como el zinc, el cobre y el arsénico.

Aguas superficiales: la calidad de las aguas superficiales depende en buena medida de su procedencia. Los lagos y embalses de montaña se localizan normalmente en las cabeceras de los ríos aguas arriba con respecto de los núcleos de población. Los niveles de bacterias y patógenos suelen ser bajos, pero siempre habrá ciertas bacterias, protozoos o algas. Cuando las tierras altas sean boscosas o pantanosas, los ácidos húmicos pueden llegar a colorear el agua. Muchas fuentes de aguas superficiales situadas en tierras altas contienen un pH bajo. Los ríos, canales y embalses en zonas de llanura tienen por lo general una concentración más elevada de bacterias y pueden contener también algas, sólidos en suspensión y diversos componentes disueltos.

Otras fuentes de agua: otras fuentes de agua son el agua marina o el agua salobre, que contienen altas concentraciones de sólidos disueltos que deben ser disueltos para que el agua sea apta para el consumo doméstico, agrícola o industrial.

## *Tratamiento del agua*

El tratamiento necesario para hacer que el agua sea apta para el consumo humano varía en función de la procedencia del agua, pero puede incluir la eliminación de los sólidos en suspensión, la eliminación de los materiales disueltos y la desinfección.

### **Eliminación de sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión se eliminan por lo general por medio de la sedimentación y/o la filtración. La coagulación, la floculación y la sedimentación pueden emplearse como pretratamiento para mejorar la efectividad y minimizar el costo del proceso de filtrado posterior. La coagulación implica añadir sustancias químicas al agua, tales como tamponadores de pH y coagulantes, para facilitar las siguientes fases del tratamiento. El agua químicamente tratada se envía a una cuenca donde las partículas en suspensión pueden colisionar y formar partículas más pesadas que reciben el nombre de flocados. Una ligera agitación y unos períodos de retención adecuados facilitan este proceso. A continuación, se reduce la velocidad del agua para que el material en suspensión pueda asentarse por gravedad fuera de la corriente de agua. Los materiales flocados también pueden ser eliminados directamente durante el proceso de filtración. Entre los métodos más comunes de filtración están los filtros de arena lentos, los filtros de tierra diatomacea y los sistemas de filtración directa. Los sistemas de tratamiento de aguas más pequeños también pueden usar filtros de membranas y filtros de cartuchos.

Los filtros de arena lentos constan de un lecho de arena fina de aproximadamente 3 a 4 pies de profundidad sobre una capa de 1 pie de ancho de gravilla y un sistema de drenaje. Los filtros de arena lentos son relativamente baratos de instalar, de funcionamiento sencillo y fiable, y pueden eliminar hasta un 99,9 por ciento de los quistes de Giardia. No obstante, estos

filtros no están diseñados para aguas de alta turbidez, y la superficie del filtro requiere un adecuado mantenimiento. Las tasas de flujo (0,03 a 0,10 galones por minuto por pie cuadrado [gal/min/ft<sup>2</sup>] del lecho del filtro) requieren grandes extensiones de terreno. Los filtros de arena lentos no exigen la coagulación/floculación y a veces ni siquiera la sedimentación.

La filtración de tierras de diatomeas, también conocida como filtración por prerrecubrimiento o filtración con diatomita, se realiza sobre una capa de tierras de diatomeas de aproximadamente 1/8 pulgada de espesor colocada sobre un septo o elemento filtrante. Los septos se colocan en recipientes de presión o funcionan en vacío en recipientes abiertos. Los filtros de tierras de diatomeas son fáciles de manejar y eficaces para eliminar quistes, algas y amianto. Son los filtros que se emplean en proyectos con un limitado capital inicial y para proporcionar capacidad de respuesta ante emergencias o capacidad auxiliar durante los grandes aumentos estacionales de la demanda. Los filtros de tierras de diatomeas son los más idóneos para el agua con bajo contenido bacteriano y reducida turbidez (menos de 10 unidades nefelométricas de turbidez [UNT]). Se requiere el uso de coagulantes y filtros ayuda para eliminar eficazmente los virus. La utilización de filtros de tierras de diatomeas genera panes de filtración usados.

Los sistemas de filtración directa son similares a los sistemas convencionales, pero omiten la sedimentación, y ciertos sistemas de filtración en varias etapas también pueden obviar la coagulación química. La filtración directa puede comprender diversas combinaciones de procesos de tratamiento. Los filtros bifásicos y mixtos pueden emplearse para procesar eficazmente una mayor turbidez en el caudal de entrada. El desempeño efectivo de la filtración directa oscila entre el 90 y el 99 por ciento para la eliminación de virus y del 10 al 99,99 por ciento para la eliminación de Giardia. La filtración directa es la más idónea para sistemas con caudales de entrada de alta calidad y estabilidad estacional. En general, el caudal de entrada debe

registrar una turbidez inferior a las 5-10 UNT y un color inferior a las 20-30 unidades.

La filtración por membrana utiliza presión para obligar al agua a pasar a través de una fina membrana. Los contaminantes se quedan en la zona de alta presión y a menudo deben eliminarse revirtiendo el flujo y aplicando agua a chorro a los residuos. Las tecnologías de membrana son relativamente sencillas de instalar y, para las fuentes de aguas subterráneas que no precisan pretratamiento, exigen poco más que una bomba de alimentación, una bomba de limpieza, los módulos de membranas y tanques de retención. El funcionamiento de los sistemas de membrana puede estar muy automatizado. Los procesos de membrana pueden utilizarse para la eliminación de bacterias y otros microorganismos, material particulado y material orgánico natural. Sin embargo, la eficiencia de la membrana puede reducirse si se producen incrustaciones. Para eliminar los contaminantes persistentes puede ser necesaria una limpieza química regular.

Los cartuchos filtrantes canalizan el agua a través de los medios porosos para eliminar las partículas existentes; el tamaño de los poros para la producción de agua potable oscila entre los 0,2 y 1.0  $\mu\text{m}$ . En ocasiones es necesario realizar el pretratamiento con filtros de desbaste antes de proceder a la utilización de cartuchos filtrantes para evitar la rápida incrustación de los cartuchos. Los cartuchos filtrantes pueden servir para eliminar microbios y turbidez en los sistemas de menor tamaño. Dichos sistemas son fáciles de operar y mantener. Los cartuchos de polipropileno pueden agotarse relativamente pronto y deben reemplazarse por nuevas unidades; por consiguiente, los sistemas de cartuchos filtrantes suelen resultar útiles sólo para aguas no tratadas de baja turbidez. A pesar de que estos sistemas de filtrado son sencillos de manejar, no son automáticos y pueden exigir un presupuesto de operación relativamente elevado. Los elementos filtrantes pueden exigir labores periódicas de limpieza.

## Eliminación de contaminantes disueltos

Algunas fuentes de agua deben ser tratadas para eliminar de ellas materiales disueltos que la coagulación y la filtración no eliminan y obtener un agua de calidad adecuada. Una elevada concentración de metales como el calcio y el magnesio contribuye a la formación de agua "dura" y puede dar lugar a problemas de incrustación. Los metales disueltos, como el hierro y el magnesio, pueden afectar negativamente el sabor del agua y provocar manchas y la acumulación de partículas de óxido metálico en tanques y tuberías de agua. Los radionucleidos, los nitratos y los metales tóxicos, como el cobre y el arsénico, pueden tener un impacto negativo sobre la salud. Los compuestos orgánicos disueltos también pueden tener un impacto negativo tanto estético como sanitario. Los métodos de tratamiento incluyen el ablandamiento con cal, la oxidación, el intercambio iónico, la ósmosis inversa, la electrodiálisis, la aireación y la filtración con carbón activado.

El ablandamiento con cal requiere elevar el pH del agua para precipitar el carbonato cálcico y el hidrógeno de magnesio empleando cal o cal hidratada. El precipitado resultante se elimina mediante sedimentación o filtración. Después de la filtración, se reduce el pH añadiendo dióxido de carbono, generado normalmente por la quema de combustibles fósiles en el lugar. Además de eliminar el calcio y el magnesio, el ablandamiento con cal también puede eliminar el hierro y el manganeso, los metales pesados, el arsénico, los radionucleidos (uranio, radio 226 y radio 228) y ciertos compuestos orgánicos. El ablandamiento con cal es idóneo para las fuentes de aguas subterráneas, que registran una calidad del agua relativamente estable. La combinación de una calidad variable del agua original y la complejidad química del ablandamiento con cal hacen que el ablandamiento con cal sea por lo general demasiado complicado para los sistemas pequeños que emplean fuentes de aguas superficiales. Un agua excesivamente blanda puede provocar la corrosión de las

tuberías. Esta corrosión puede acortar la vida útil de las tuberías y aparatos domésticos y puede generar materiales tóxicos como el plomo o el cadmio, que se disuelven en el agua potable.

La oxidación puede emplearse para eliminar metales como el hierro y el manganeso mediante la formación de especies insolubles que a continuación pueden filtrarse del agua. La oxidación también puede utilizarse para destruir ciertos contaminantes orgánicos. Los oxidantes químicos más comunes empleados para el tratamiento del agua son el cloro, el dióxido de cloro, el permanganato de potasio y el ozono. La oxidación con cloro o con permanganato de potasio se aplica con frecuencia en los pequeños sistemas de aguas subterráneas. La dosificación es relativamente simple, requiere un equipo sencillo y es relativamente barata. La cloración se emplea con frecuencia para la oxidación del hierro divalente y el manganeso. Sin embargo, la formación de trihalometanos (THM) puede conllevar un problema. Como oxidante, el permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) suele ser más caro que el cloro y el ozono, pero se dice que es igual de eficiente para eliminar el hierro y el manganeso y exige unos equipos y una inversión en capital mucho menores. Sin embargo, es necesario controlar cuidadosamente la dosis de permanganato de potasio. Puede emplearse ozono para llevar a cabo la oxidación del hierro y el manganeso, pero podría resultar ineficaz para la oxidación en presencia de materiales húmicos o fúlvicos. Asimismo, podrá emplearse el oxígeno como oxidante, siempre que el hierro no forme un complejo con materiales húmicos y otras grandes moléculas orgánicas. La presencia de otras especies oxidables en el agua obstaculiza la oxidación de los compuestos reducidos deseados.

El intercambio iónico puede utilizarse para eliminar las especies cargadas (a saber, iónicas) en el agua, aunque normalmente se emplea para eliminar la dureza y los nitratos. La eliminación se lleva a cabo a través de la absorción de los iones

contaminantes en un medio de intercambio de resinas. El agua suele someterse a un pretratamiento para reducir la carga de sólidos en suspensión y sólidos disueltos totales (SDT) de la unidad de intercambio iónico. El intercambio iónico puede emplearse con tasas fluctuantes de flujo. Los residuos derivados del intercambio iónico están muy concentrados y deben ser eliminados cuidadosamente. Las unidades de intercambio iónico son además sensibles a la presencia de iones rivales. Por ejemplo, los caudales de entrada con altos niveles de dureza competirán con otros cationes (iones positivos) por el espacio dentro del medio de intercambio, y el medio de intercambio debe ser regenerado con más frecuencia.

La ósmosis inversa (OI) elimina los contaminantes del agua utilizando una membrana semipermeable que sólo permite que el agua, y no los iones disueltos (como el sodio o el cloro) atraviesen sus poros. Agua no tratada se ve sometida a altas presiones que fuerzan al agua pura a atravesar la membrana, dejando los contaminantes detrás en una solución de salmuera. La OI puede eliminar de forma eficaz casi todos los contaminantes inorgánicos del agua. Elimina más del 70 por ciento del arsénico (III), arsénico (IV), bario, cadmio, cromo (III), cromo (VI), fluoruro, plomo, mercurio, nitrito, selenio (IV), selenio (VI) y plata, y las unidades adecuadamente gestionadas pueden alcanzar tasas de eliminación de hasta un 96 por ciento. La OI también puede eliminar eficazmente el radio, sustancias orgánicas naturales, pesticidas y contaminantes microbiológicos. La OI es particularmente eficaz cuando se utiliza en serie; cuando el agua atraviesa múltiples unidades puede alcanzar una concentración de contaminantes cercana a cero. Los sistemas de OI son relativamente insensibles al flujo y a la concentración de SDT, y por lo tanto son adecuados para los sistemas pequeños con un elevado grado de fluctuación estacional en la demanda de agua. Su funcionamiento sencillo y la automatización exigen al operario prestar menos atención al mismo y convierten la OI en el método más adecuado para los

pequeños sistemas. Sin embargo, la OI suele acarrear elevados costos de capital y explotación, y en ocasiones es necesario un alto nivel de pretratamiento para evitar las incrustaciones.

La ósmosis inversa se emplea también para la desalinización del agua de mar y de otras fuentes de agua con elevadas cantidades de sólidos disueltos. El agua de desalación pura suele ser ácida y corrosiva para las tuberías, por lo que suele mezclarse con otras fuentes de agua canalizadas en el lugar o bien ajustarse su pH, dureza y alcalinidad antes de canalizarse fuera del mismo. El porcentaje de agua recuperada con respecto al flujo de agua de entrada es del 15 al 50 por ciento en la mayoría de las plantas de desalinización de agua marina (es decir, por cada 100 galones de agua marina, se producirán de 15 a 50 galones de agua pura con agua de salmuera que contiene sólidos disueltos). La salmuera y otros residuos líquidos de las plantas de desalinización pueden contener todos o algunos de los siguientes constituyentes: altas concentraciones de sal, sustancias químicas empleadas durante la desincrustación de los equipos en planta y el pretratamiento, y metales tóxicos (que pueden estar presentes si el agua descargada ha estado en contacto con materiales metálicos utilizados para la construcción de las instalaciones de la planta). Los residuos líquidos pueden verterse directamente al mar, combinarse con otros vertidos (por ejemplo, con agua de refrigeración de las plantas eléctricas o efluentes de aguas negras procedentes de las plantas de tratamiento) antes de su vertido al mar, verterse en una alcantarilla para su tratamiento en una planta de tratamiento de aguas negras, o someterse a un proceso de evaporación (junto con los sólidos restantes depositados en un vertedero). Las plantas de desalinización generan también pequeñas cantidades de residuos sólidos (por ejemplo, filtros de pretratamiento gastados y partículas sólidas que se filtran durante el proceso de pretratamiento).

La electrodiálisis emplea una carga eléctrica y una membrana semipermeable para eliminar las especies cargadas. Las

membranas están diseñadas para dejar pasar iones de carga positiva o negativa; de este modo, los iones se trasladan de la corriente de agua de producto a través de una membrana hasta dos corrientes de agua de salmuera. La corriente de desecho constituye normalmente el 20–90 por ciento del flujo de alimentación. La electrodiálisis puede eliminar la mayoría de los iones disueltos, es muy eficaz para eliminar el fluoruro y el nitrato, y también puede acabar con el bario, el cadmio y el selenio. La electrodiálisis es relativamente insensible al flujo y a la concentración de STD y a las concentraciones inferiores de efluentes. Estos sistemas suelen tener costos de capital y de explotación elevados y pueden requerir un alto nivel de pretratamiento.

La aireación (extracción con aire) puede emplearse para eliminar los compuestos volátiles y el radón presente en el agua original. Los contaminantes volatilizados se liberan en la atmósfera con o sin tratamiento. Los sistemas de aireación que pueden ser apropiados para los sistemas de agua potable incluyen la aireación con torre de relleno, la aireación difusa, la aireación en torres de múltiples bandejas y la aireación mecánica. Los sistemas pequeños pueden emplear un aireador simple construido con materiales relativamente comunes en lugar de sistemas de aireación especialmente diseñados.

El carbón activado elimina los contaminantes mediante absorción, un proceso básicamente físico mediante el cual los contaminantes disueltos se adhieren a la superficie porosa de las partículas de carbono. El carbón activado elimina muchos contaminantes orgánicos, así como el olor y sabor del agua suministrada. Las sustancias orgánicas no absorbidas por el carbón activado incluyen alcoholes; alifáticos de bajo peso molecular (incluido el cloruro de vinilo), cetonas, ácidos y aldehídos; azúcares y almidones; y sustancias orgánicas de elevado peso molecular y coloidales. La eliminación del radón con carbón activado no es factible en las plantas de tratamiento. El carbón activado se sustituye periódicamente cuando la

superficie del terreno está saturada y ya no puede absorber efectivamente más contaminantes. Sin embargo, el proceso de adsorción puede invertirse con relativa facilidad, permitiendo la regeneración y reutilización del carbón activado.

## Desinfección

Los sistemas de tratamiento de aguas utilizan desinfectantes para destruir microorganismos que pueden provocar enfermedades en los humanos. Los agentes desinfectantes más comunes son el cloro, la cloramina, el ozono y la luz ultravioleta. Otros métodos de desinfección son el dióxido de cloro, permanganato potásico y la nanofiltración. Mediante la desinfección primaria se obtiene el nivel deseado de destrucción o desactivación de microorganismos, mientras que la desinfección secundaria mantiene los desinfectantes residuales en el agua terminada, evitando la reaparición de microorganismos.

El cloro es muy eficaz para eliminar casi todos los patógenos microbianos y es adecuado tanto como desinfectante primario como secundario. El cloro puede utilizarse en forma de gas, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio. El gas de cloro suele suministrarse en estado líquido mediante cilindros de alta presión, y también puede generarse en la propia planta mediante la electrolisis de una solución de cloruro de sodio. El hipoclorito de sodio suele almacenarse en una solución acuosa y diluirse antes de usar. El hipoclorito de calcio suele almacenarse en estado sólido y disolverse en agua antes de usarse. La cloración química suele inyectarse en la tubería de suministro del agua a tasas controladas. El cloro reacciona a los materiales orgánicos presentes naturalmente en muchas fuentes de agua para formar subproductos químicos nocivos, mayormente trihalometanos.

La cloramina es un bactericida eficaz que genera niveles de trihalometanos menores que el cloro. Las cloraminas se generan en el terreno inyectando cloro (como solución gaseosa

o como hipoclorito de sodio) en el conducto de suministro y aplicando inmediatamente después una inyección de amoníaco (como una solución gaseosa o como hidróxido amónico). La cloramina no es un desinfectante fuerte, y es mucho menos eficaz contra los virus o los protozoos que el cloro libre. La cloramina se utiliza a menudo como desinfectante secundario para evitar que las bacterias vuelvan a reproducirse en un sistema de distribución.

El ozono, un alótropo del oxígeno cuya molécula está compuesta por tres átomos de este elemento, es un poderoso agente oxidante y desinfectante. El gas de ozono es inestable y debe generarse sobre el terreno haciendo pasar aire seco a través de un sistema de electrodos de alto voltaje. La ozonación requiere un período de contacto más breve que el cloro. El ozono no produce directamente materiales orgánicos halogenados a menos que esté presente un ión de bromuro. Se precisa un desinfectante secundario, como por ejemplo la cloramina, ya que el ozono no mantiene un residuo adecuado en el agua. Los costos de capital de los sistemas de ozonación son relativamente elevados, y su funcionamiento y mantenimiento relativamente complejos.

La radiación ultravioleta (UV) se genera mediante una lámpara especial. Al atravesar la pared celular de un organismo, se altera el material genético de la célula y ésta no puede reproducirse, lo que destruye así eficazmente las bacterias y los virus. Tal y como sucede con el ozono, debe emplearse un desinfectante secundario para impedir que los microorganismos vuelvan a desarrollarse. La radiación UV puede ser atractiva como un primer desinfectante para pequeños sistemas porque es fácilmente accesible, no genera residuos tóxicos conocidos, exige períodos de contacto breves, y los equipos asociados son fáciles de manejar y mantener. Sin embargo, los rayos UVA pueden resultar incapaces de desactivar la *Giardia lamblia* o quistes de criptosporidio. La radiación UV no es adecuada cuando el agua contiene elevados niveles de sólidos en

suspensión, turbidez, color o materia orgánica soluble, porque estas sustancias pueden reaccionar con o absorber la radiación UV, reduciendo el grado de desinfección.

### *Distribución y almacenamiento de agua*

Los sistemas de distribución de agua incluyen todos los componentes necesarios para transportar agua potable desde las plantas de tratamiento centralizado y pozos mediante sistemas de alimentación de almacenamiento por gravedad o bombas que canalizan el agua a través de las redes de distribución por bombeo hasta los consumidores, incluido el almacenamiento de distribución y compensación. Estos sistemas están compuestos por tuberías, bombas, válvulas, tanques de almacenamiento, depósitos, contadores, conexiones y otros accesorios hidráulicos. Los sistemas de distribución están diseñados y operados para suministrar agua de una calidad aceptable para el consumo humano y de calidad suficiente para satisfacer todas las necesidades de los consumidores. Muchos de estos sistemas también disponen de capacidad suficiente para distribuir agua no potable, por ejemplo para el riego, la conservación de paisajes y la extinción de incendios.

La mayor parte de las tuberías de distribución de agua están hechas de hierro dúctil, cemento pretensado, cloruro de polivinilo, plástico reforzado y acero. En el pasado también se empleaban tuberías de hierro fundido sin revestir y asbesto cemento, pudiendo constituir una parte importante de los componentes de los sistemas existentes.

La topología de las redes de distribución de agua puede consistir en un circuito cerrado, en un sistema ramificado, o una combinación de ambos. En un sistema ramificado, las tuberías más pequeñas se ramifican a partir de las más grandes por todo el sistema, de modo que el agua sólo puede realizar un recorrido desde la fuente hasta el consumidor. Un sistema de

circuito cerrado se compone de circuitos de tubería conectados entre sí a lo largo de toda el área de servicio, de modo que el agua puede llegar desde la fuente hasta el consumidor a través de varios recorridos. En un sistema de circuito cerrado, si un segmento de la red de distribución falla o necesita reparación, dicho segmento puede ser aislado sin necesidad de interrumpir el servicio a todos los usuarios de la red. La mayor parte de las redes de distribución de agua poseen componentes tanto de los sistemas de circuito cerrado como de los sistemas ramificados. Los sistemas de tratamiento descentralizados, que proporcionan tratamiento adicional cerca del punto de uso en función de las necesidades de los clientes, han sido puestos en práctica en pruebas, y puede que se utilicen más en el futuro. En algunas comunidades existen sistemas de distribución dual que cuentan con conductos separados para el agua potable y no potable (por ejemplo, agua depurada y empleada para la irrigación, la protección contra incendios, etc.).

Los tanques y depósitos de almacenamiento se utilizan para disponer de una capacidad de almacenamiento que permita responder a las fluctuaciones de la demanda, para proporcionar un suministro de reserva para la extinción de incendios y otras necesidades urgentes, para estabilizar la presión en los sistemas de distribución, simplificar aún más el funcionamiento y flexibilizar el bombeo para suministrar agua durante los fallos en la fuente o en el bombeo y para mezclar las aguas procedentes de fuentes distintas. Aunque se utilizan con mayor frecuencia los tanques elevados, otras clases de tanques y depósitos incluyen tanques a nivel del suelo y depósitos abiertos o cerrados.

Los sistemas de distribución de agua necesitan energía bajo la forma de presión para suministrar el agua tratada. Esta energía puede suministrarse a través de una bomba, de alimentación por gravedad de una fuente de agua (como un depósito o una torre de agua) que se encuentre a una mayor altura, o, en los sistemas de menor tamaño, de aire comprimido. Las válvulas se

emplean para aislar secciones de la red en caso de que sea necesario su mantenimiento o reparación. Las válvulas de control se emplean para controlar el flujo y la presión en el sistema de distribución.

Teóricamente, la calidad del agua no debería alterarse entre el momento en que el agua abandona la planta de tratamiento y el momento en que es finalmente consumida. No obstante, pueden producirse cambios sustanciales en el agua terminada como resultado de complejas reacciones físicas, químicas y biológicas dentro del sistema de distribución. Por ejemplo, los tanques diseñados para proporcionar un adecuado suministro de agua para la extinción de incendios pueden registrar reducidas tasas de renovación y bajos niveles de desinfectantes residuales, lo que conduce al crecimiento de biopelícula y a otros cambios biológicos del agua, como por ejemplo la nitrificación. El diseño y funcionamiento del sistema de distribución puede minimizar estos efectos.

## A.2 Saneamiento

Los sistemas de saneamiento protegen la salud humana y el medio ambiente aislando y, en cierto modo, tratando las aguas negras residuales. En las zonas rurales, lo más frecuente son los sistemas de saneamiento sobre el terreno, desde las letrinas de pozo hasta los inodoros con sistemas de descarga y fosas sépticas. A medida que aumenta la densidad de población son necesarios sistemas de recolección, almacenamiento y tratamiento centralizados más complejos.

### *Recolección de lodos*

Los sistemas de saneamiento sobre el terreno, como las letrinas de cubo y los sistemas sépticos, exigen para su correcto funcionamiento la eliminación periódica de los sólidos. La primera fase para una correcta gestión de los lodos fecales es su recolección y transporte a una instalación de almacenamiento o tratamiento. La recolección puede llevarse a

cabo por medios manuales (por ejemplo, con palas y cubos), o con equipos mecánicos. Los sistemas mecánicos empleados para la recolección de residuos sépticos incluyen tanques de vacío acoplados a camiones, con una capacidad de 3 a 6 m<sup>3</sup>, pequeños remolques no motorizados con bombas de vacío y una capacidad de entre 350 y 500 L. En las viviendas situadas en la proximidad de una carretera, las fosas sépticas pueden vaciarse empleando los camiones y los residuos sépticos pueden transportarse directamente hasta el lugar donde se realiza el tratamiento. Si la vivienda está situada en una vía estrecha, se puede utilizar el mini remolque con bomba de vacío. En tales casos, un tanque de almacenamiento intermedio (con una capacidad de 3 a 6 m<sup>3</sup>) puede colocarse en el punto más próximo accesible al camión, trasladándose los residuos sépticos hasta el tanque realizando varios viajes con el remolque de vacío. Este tanque de almacenamiento se puede trasladar luego hasta un lugar donde vaciarlo o bien a la planta de tratamiento. Una unidad del sistema, ya sea grande o pequeña, puede atender a 2 y 3 fosas sépticas al día, aproximadamente 500 al año.

### *Alcantarillado*

Las alcantarillas son conductos cerrados, normalmente circulares, que se cortan transversalmente y transportan las aguas residuales. El alcantarillado es el sistema de alcantarillas e incluye estaciones de bombeo, rebosaderos y otra infraestructura asociada. La mayoría de las alcantarillas están diseñadas para llevar aguas negras o aguas pluviales, pero muchas son alcantarillas mixtas que pueden portar ambos tipos de agua.

El alcantarillado permite trasladar las aguas residuales de los usuarios residenciales, comerciales e industriales, hasta el lugar de almacenamiento, descarga o de tratamiento de aguas residuales. Dado que los residuos líquidos industriales pueden contener una amplia gama de sustancias químicas, disolventes

y otros contaminantes que no pueden ser eficazmente eliminados por las plantas de tratamiento centralizado de aguas residuales, a menudo las industrias están obligadas a someter sus residuos líquidos a un pretratamiento antes de su descarga a la alcantarilla.

El diseño y el tamaño de los sistemas de alcantarillado deben tener en cuenta la población servida, los flujos comerciales e industriales, las características de los flujos máximos y los flujos de clima húmedo. Al margen del flujo previsto de aguas negras, el tamaño y características de la cuenca son los criterios primordiales en el diseño de las redes unitarias de alcantarillado. A menudo, las redes unitarias no pueden gestionar el volumen de la escorrentía de aguas pluviales, lo que provoca desbordamientos que suelen descargarse en aguas superficiales con escaso o nulo tratamiento. Aunque hay sistemas de alcantarillado diseñados exclusivamente para transportar las aguas negras, todos los sistemas de alcantarillado registran algún tipo de entrada o infiltración de aguas superficiales y aguas subterráneas. Los flujos de entrada y la infiltración se ven afectados por las condiciones de humedad previas, que representan asimismo un criterio a tener en cuenta para el diseño de los sistemas independientes de alcantarillado.

Un procedimiento frecuentemente empleado para transportar las aguas en los sistemas de alcantarilla consiste en transportar las aguas residuales por gravedad a lo largo de las pendientes descendientes de las tuberías. Este tipo de alcantarillas, conocidas como alcantarillas convencionales por gravedad, están diseñadas de tal modo que la pendiente y el tamaño de la tubería es el adecuado para mantener el flujo hacia el punto de descarga sin tener que recargar las tapas de acceso o presurizar la tubería. Las alcantarillas convencionales por gravedad suelen utilizarse en las áreas urbanas con un terreno en permanente pendiente, porque en las zonas excesivamente accidentadas o llanas se requieren excavaciones profundas que

encarecen los costos de construcción. Las estaciones de bombeo o elevación de aguas negras pueden ser necesarias debido a los requisitos de pendiente de las alcantarillas convencionales por gravedad, lo que da lugar a las terminales de sistema (es decir, los puntos bajos) al final de la alcantarilla, donde las aguas negras se recogen y deben ser bombeadas o elevadas hasta un sistema de recolección. Las estaciones de bombeo y elevación incrementan sustancialmente el costo del sistema de recolección. Las tapas de acceso de las alcantarillas convencionales por gravedad permiten la entrada y filtración de flujos, lo que puede aumentar el volumen de aguas residuales que deben llevar así como el tamaño de las tuberías y de las estaciones de bombeo/elevación.

Los sistemas alternativos de recolección de aguas residuales pueden ser eficaces en función de costos en aquellas zonas en que los sistemas tradicionales de recolección son demasiado caros de instalar y operar. Por ejemplo, los sistemas de alcantarillado a presión se emplean a veces en zonas escasamente pobladas o suburbanas donde los sistemas de recolección convencionales resultarían caros. Estos sistemas suelen utilizar tuberías de un diámetro más pequeño con una ligera pendiente o adaptarse al perfil del terreno, lo que reduce los costes de excavación y construcción. Las alcantarillas a presión se diferencian de los sistemas convencionales de recolección por gravedad por que descomponen los sólidos de gran tamaño en la estación de bombeo antes de transportarlos a través del sistema de recolección. Su diseño hermético y la ausencia de tapas de acceso impiden la entrada de flujos extraños en el sistema. Así pues, los sistemas de alcantarillado alternativos pueden ser preferibles en aquellas zonas que registren elevados niveles de aguas subterráneas que podrían filtrarse en el alcantarillado, incrementando el volumen de aguas residuales a tratar. Además, al mantener las aguas residuales dentro de la alcantarilla, protegen las fuentes de aguas subterráneas. Los inconvenientes de los sistemas

alternativos de aguas negras incluyen una demanda de energía más elevada, unos requisitos de mantenimiento mayores y más costos por lote. En aquellas zonas donde se registran variaciones en términos de terrenos y densidad de población, tal vez lo idóneo sea combinar distintas clases de alcantarillado.

Los dos sistemas principales de alcantarillado a presión son los sistemas con tanque séptico y bomba de efluente (STEP, por sus siglas en inglés) y las bombas trituradoras (GP, por sus siglas en inglés). Ninguno de ellos exige introducir cambios en la instalación de cañerías de la vivienda. En los sistemas STEP, las aguas residuales entran en un tanque séptico convencional o interceptor para captar los sólidos. El efluente líquido fluye hasta el tanque de retención que contiene una bomba e instrumentos de control. A continuación se bombea el efluente y se transporta para su tratamiento. La renovación de las fosas sépticas existentes en zonas atendidas por sistemas de fosa séptica/campo de drenaje parecerían una oportunidad para reducir costos, pero un elevado número de ellas (a menudo, la mayoría) debe reemplazarse o expandirse pasado el ciclo de vida del sistema debido a su insuficiente capacidad, el deterioro de las fosas de hormigón o las fugas existentes. En los sistemas GP, las aguas negras fluyen hasta una cámara donde una bomba trituradora tritura los sólidos y descarga las aguas negras en un sistema de tuberías presurizadas. Los sistemas GP no requieren una fosa séptica aunque sí más potencia que los sistemas STEP debido a la función de trituración. Los sistemas de GP producen aguas residuales con un mayor contenido en STD, que puede ser rechazado por la planta de tratamiento aguas abajo.

### *Tratamiento de aguas residuales*

El tratamiento de las aguas negras incluye procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar las sustancias contaminantes físicas, químicas y biológicas. Su objetivo es producir efluentes tratados y unos residuos sólidos o lodos que

puedan verse o reutilizarse en el medio ambiente. Por lo general, el tratamiento de aguas negras comprende tres fases, denominadas tratamiento primario, secundario y terciario (o avanzado).

### **Tratamiento primario**

El tratamiento primario tiene por objeto eliminar los sólidos brutos, suspendidos y flotantes procedentes de las aguas negras no tratadas. Esta fase se conoce en ocasiones como tratamiento mecánico, aunque a menudo se utilizan sustancias químicas para acelerar el proceso de sedimentación.

Durante la fase de selección preliminar se eliminan los objetos de gran tamaño suspendidos y flotantes. Una vez examinadas las aguas residuales, se canalizan hasta el desarenador, donde la arena, la gravilla, las cenizas y las piedras pequeñas se asientan en el fondo. Es muy importante eliminar la gravilla y la grava de calles y terrenos arrastradas durante las tormentas, especialmente en ciudades que disponen de redes unitarias de alcantarillado. Las grandes cantidades de gravilla y arena que acceden a la planta de tratamiento pueden provocar graves problemas operativos, como por ejemplo el desgaste excesivo de bombas y otros equipos, el taponamiento de los dispositivos de aireación o el agotamiento de la capacidad de los tanques necesaria para el tratamiento. La gravilla y los residuos eliminados mediante estos procesos deben recogerse y eliminarse periódicamente (por ejemplo, en vertederos o mediante incineración).

Una vez completado el cribado y eliminada la gravilla, las aguas residuales siguen conteniendo constituyentes orgánicos e inorgánicos disueltos junto con los sólidos en suspensión. Los restantes sólidos en suspensión pueden eliminarse mediante sedimentación o asentamiento por gravedad, coagulación química o filtración. La materia sólida eliminada se denomina lodos primarios.

El tratamiento primario puede reducir la DBO de las aguas residuales entrantes en un 20- 30 por ciento y los sólidos en suspensión totales en un 50-60 por ciento. El tratamiento primario suele ser la primera fase en el tratamiento de las aguas residuales. En algunos casos, las plantas de tratamiento empiezan con el tratamiento primario y añaden otras fases del tratamiento a medida que aumenta la carga de aguas residuales, aumenta la necesidad de realizar el tratamiento y la disponibilidad de los recursos.

### Tratamiento secundario

Los tratamientos secundarios utilizan procesos biológicos para eliminar cerca del 85 por ciento de la materia orgánica disuelta que escapa al tratamiento primario. Las tecnologías de tratamiento secundario incluyen procesos de película fija, lodos activados y otros procesos de crecimiento suspendido, sistemas de aeración extendida, biorreactores de membranas, aeración de lagunas, estanques y sistemas de humedales construidos por el hombre, así como otras formas de tratamiento que utilizan la actividad biológica para descomponer la materia orgánica.

En los procesos de crecimiento adherido (o película fija), la flora microbiana se genera sobre la superficie de elementos de piedra o plástico. Las aguas residuales atraviesan los elementos junto con el aire para suministrar oxígeno. Las unidades del proceso de crecimiento adherido incluyen filtros biológicos, torres biológicas y biodiscos. En los procesos de crecimiento suspendido, la flora microbiana queda suspendida en una mezcla de agua aireada donde el aire (u oxígeno) se introduce por medio del bombeo o se agita el agua lo suficiente para facilitar la transferencia de oxígeno. Las unidades del proceso de crecimiento suspendido incluyen distintas variedades de lodos activados, zanjas de oxidación y reactores de alimentación discontinua. El proceso de crecimiento suspendido acelera la labor de las bacterias aeróbicas y otros

microorganismos que descomponen la materia orgánica presente en las aguas negras al suministrar un medio aerobio rico donde los microorganismos en suspensión presentes en las aguas residuales puedan trabajar con mayor eficiencia.

Desde el tanque de aireación, las aguas residuales tratadas fluyen hasta un tanque de sedimentación (decantador secundario) donde se elimina el exceso de biomasa. Parte de la biomasa se recicla en la cabecera del tanque de aeración, mientras que la biomasa sobrante se “elimina” del sistema. La biomasa residual y los sólidos sedimentados son tratados antes de su eliminación o reutilización como biosólidos.

Los lodos activados y otros procesos relacionados pueden ser ideales cuando se quiere eliminar un considerable volumen de contaminación orgánica, existen fondos y personal cualificado disponible para su funcionamiento y mantenimiento, y la tierra es escasa o cara. El sistema suele requerir alguna clase de tratamiento primario, como son el cribado y la sedimentación. Cuando se opera y mantiene adecuadamente, el proceso no genera ni moscas ni olores. No obstante, la mayor parte de los procesos con lodos activados son más costosos en términos de funcionamiento que los procesos de crecimiento adherido, requiriéndose un suministro de energía constante. La eficacia del proceso de lodos activados puede verse afectada negativamente por altos niveles de compuestos tóxicos en las aguas residuales. Por lo tanto, se requiere un programa de pretratamiento industrial para controlar los contaminantes procedentes de los usuarios industriales que puedan atravesar o interferir en los procesos de tratamiento, contaminar los lodos de las aguas negras, o crear condiciones peligrosas en el alcantarillado o el sistema de tratamiento, como es la formación de gases explosivos o tóxicos<sup>47</sup>.

Las consideraciones generales para el diseño de los procesos

<sup>47</sup> Ver, por ejemplo, EPA, Office of Wastewater Management, Permits Division, Model Pretreatment Ordinance, January 2007, EPA 833-B-06-002.

de lodos activados incluyen las propiedades de las aguas residuales, las condiciones ambientales locales (incluida la temperatura), la posible presencia de sustancias inhibidoras (como las presentes en los efluentes industriales), los requisitos de transferencia de oxígeno y cinética de reacción (tiempo de retención en el sistema).

La aireación prolongada es una variante del proceso básico de lodos activados que utiliza un caudal relativamente bajo y mayores tiempos de aireación. Las aguas negras aireadas forman lodos marrones floculados que se asientan en un tanque de sedimentación separado. De este modo, el efluente claro ya tratado se retira de la superficie del tanque de sedimentación y los lodos se extraen del fondo del tanque. La ventaja de este sistema es que los lodos son estables y no exigen tratamiento adicional además de la deshidratación. Sin embargo, la demanda de electricidad es elevada dado su extenso período de aireación, y por lo tanto este sistema suele ser idóneo para plantas de menor tamaño.

Los biorreactores de membrana (BRM) o sistemas de membranas biológicas incluyen un sistema de membranas semipermeables ya sea sumergido o en conjunto con un proceso de lodos activados. Esta tecnología garantiza la eliminación de todos los contaminantes suspendidos y algunos disueltos. La limitación de los sistemas de BRM es directamente proporcional a la eficiencia reductora de nutrientes del proceso de lodos activados. Los sistemas de BRM pueden lograr efluentes de alta calidad empleando pequeñas superficies de terreno. Sin embargo, se trata de un proceso sofisticado y el costo asociado con su construcción y funcionamiento suele ser mayor que el del tratamiento convencional de aguas residuales.

Los estanques y humedales son opciones sencillas y sólidas para el tratamiento de aguas residuales, y sus costos y requisitos de funcionamiento y mantenimiento son bajos. Los estanques se clasifican de anaerobios (las reacciones se

producen sin la presencia de oxígeno), facultativos (donde los procesos pueden requerir o no el uso de oxígeno) y de maduración (el estanque proporciona tratamiento adicional en presencia de oxígeno y luz solar para reducir aún más los contaminantes antes de la descarga).

Los sistemas de estanque y humedales se ven influidos por condiciones naturales tales como el viento, la temperatura, la lluvia, la radiación solar y la filtración, así como por factores físicos como la superficie del terreno, la profundidad del agua, resistencia, el pH, los materiales tóxicos y el oxígeno. Los problemas específicos del emplazamiento pueden incluir elevados niveles freáticos, inundaciones, topografía abrupta y hábitats para vectores como los mosquitos.

Los estanques de estabilización aeróbica de residuos son cuencas abiertas donde las aguas residuales son tratadas sin oxígeno. Los sólidos se asientan y son digeridos en el fondo del estanque. Los estanques anaerobios pueden emplearse como una primera fase en el tratamiento de las aguas residuales, antes de proceder al tratamiento secundario mediante sistemas tales como estanques facultativos o humedales artificiales. Los estanques anaerobios suelen ser piletas rectangulares con una profundidad de al menos 3 metros e idealmente 4 metros. Los lodos deben limpiarse periódicamente de los estanques (por ejemplo, mediante el drenaje y la eliminación de sólidos o utilizando una bomba de lodos con flotador). Un estanque anaerobio bien diseñado puede eliminar hasta un 60 por ciento de la DBO y DQO en climas cálidos.

Los estanques facultativos son grandes piletas poco profundas (de aproximadamente 1,5 a 1,8 metros de profundidad) que facilitan una combinación de procesos anaerobios y aerobios. El tratamiento se lleva a cabo mediante una combinación de procesos físicos y biológicos, y puede ser complejo. Los estanques de maduración son similares pero de menor tamaño, y suelen colocarse en series a continuación de los estanques

facultativos. Los estanques de maduración son más eficientes para eliminar tanto las bacterias como los huevos de gusanos parasitarios que la mayoría de los demás procesos de tratamiento. Puede considerarse la posibilidad de emplear estanques facultativos y de maduración cuando el terreno sea suficiente, deban reducirse los niveles de patógenos y/o el caudal de entrada pueda transportar en ocasiones grandes cantidades de escorrentía de aguas pluviales.

Los humedales artificiales son sistemas de ingeniería capaces de tratar diversas clases de efluentes residuales, incluidas las residuales domésticas, las escorrentías agrícolas, las aguas pluviales e incluso los efluentes industriales. El tratamiento combina una serie de procesos biológicos y físicos, incluida la sedimentación, la precipitación, la adsorción, la asimilación por plantas y la actividad microbológica. El sistema está diseñado para fluir por gravedad, minimizando la necesidad de bombas y dispositivos eléctricos. El flujo puede ser vertical u horizontal, y en el caso de los humedales de flujo horizontal, éste puede ser subterráneo o superficial. La mayor parte de los humedales artificiales en los países en desarrollo son de flujo horizontal subterráneo. Los flujos superficiales suelen evitarse porque proporcionan zonas de apareamiento para los mosquitos.

Los humedales artificiales pueden utilizarse cuando se presente la necesidad de obtener efluentes de calidad superior gracias exclusivamente al tratamiento anaerobio. El tratamiento de los humedales artificiales requiere entre 3 – 5 m<sup>2</sup> por persona para tratar aguas negras sin diluir; los requisitos de superficie pueden reducirse mediante el tratamiento anaeróbico preliminar.

### **Tratamiento terciario**

Los procesos de tratamiento utilizados para reducir la DBO de las aguas negras residuales son procesos de tratamiento secundario. El tratamiento terciario se define como la práctica realizada después del tratamiento secundario y tiene por objeto

eliminar los contaminantes orgánicos no biodegradables y nutrientes minerales como las sales de nitrógeno y fósforo. El tratamiento terciario puede eliminar más del 99 por ciento de las impurezas de las aguas residuales, y es capaz de producir un efluente de una calidad casi igual a la del agua potable. Un ejemplo de tratamiento terciario es la modificación del tratamiento secundario convencional para eliminar el fósforo y el nitrógeno adicionales. Los filtros de carbón activado se utilizan normalmente en los tratamientos terciarios.

### **Desinfección**

La desinfección puede ser la última fase antes del vertido del efluente. El cloro es el desinfectante más utilizado, pero el ozono y la radiación ultravioleta también se emplean con frecuencia para la desinfección de las aguas residuales. Sin embargo, algunas autoridades se muestran preocupadas por los efectos perjudiciales que los residuos del cloro pueden tener en el efluente. La decoloración de las aguas residuales tratadas puede ser la opción adecuada para alcanzar los parámetros deseados de calidad del agua.

### **Reutilización de aguas residuales**

Las aguas residuales son utilizadas cada vez en mayor medida en la agricultura, especialmente en aquellas zonas que sufren de escasez de agua, aumento de población y el consiguiente incremento en la demanda de alimentos, ya que las aguas residuales constituyen una fuente tanto de agua como de nutrientes. Además, las aguas residuales pueden constituir una fuente de agua confiable a lo largo de todo el año.

Las aguas residuales se aplican en la tierra y se mueven por el suelo, donde la acción filtrante natural del mismo y la actividad microbiana y la absorción por parte de las plantas elimina la mayor parte de los contaminantes. Una parte de estas aguas se evapora o es utilizada por las plantas. El resto se recolecta en desagües o pozos para su descarga en la superficie o se filtran

en las aguas subterráneas. La mayor parte del agua y de los nutrientes son aprovechados por las plantas, mientras que otros contaminantes se transfieren al suelo mediante adsorción, cuando son mineralizados o descompuestos por la acción microbiana.

Las aguas residuales, que a veces se desinfectan antes de aplicarse (dependiendo del uso final del cultivo y del método de irrigación), pueden aplicarse en la tierra mediante pulverización, inundación, riego por goteo o riego por surcos. El método elegido dependerá de los costos, las características del terreno y el tipo de cultivo. Los sistemas de riego por goteo descargan el agua a través de pequeños orificios en tuberías dispuestas a lo ancho y largo del terreno. Por lo tanto, es necesario realizar el pretratamiento para eliminar los sólidos en suspensión y evitar así taponar los orificios de estos sistemas.

### *Tratamiento y eliminación de lodos*

#### **Tratamiento de los lodos**

Los sistemas de tratamiento de lodos más frecuentes son la digestión anaerobia y la digestión anaerobia termofílica.

Los digestores anaerobios son grandes tanques de fermentación que funcionan de forma continua bajo condiciones anaerobias. La descomposición anaerobia puede utilizarse para el tratamiento directo de las aguas negras, pero en términos económicos resulta más rentable el tratamiento aerobio de los residuos. Los digestores anaerobios a gran escala suelen utilizarse para el procesamiento de los lodos producidos por los tratamientos primario y secundario. También se emplea el riego por goteo en el tratamiento de efluentes industriales con altos niveles de DBO. Los mecanismos destinados a la mezcla mecánica, el calentamiento, la recolección de gases, la adición de lodos y la eliminación de los lodos estabilizados se incorporan al diseño de digestores anaerobios a gran escala. La digestión anaerobia emplea una amplia gama de bacterias

anaerobias no metanógenas. En la primera fase del proceso, las materias orgánicas complejas se descomponen, y en la siguiente se genera el metano. El producto final de la digestión anaerobia consiste en aproximadamente un 70% de metano y un 30% de dióxido de carbono, biomasa microbiana y un residuo no biodegradable. Los lodos plenamente digeridos apenas contienen sustancias orgánicas automáticamente biodegradables. No suele presentar olores molestos, y alrededor del 50% de los sólidos son inorgánicos.

La digestión anaerobia termofílica se produce a temperaturas más elevadas, normalmente entre los 50 y 70°C, a diferencia de la digestión anaerobia normal, que suele realizarse a unos 20-45° C. La digestión anaerobia termofílica puede resultar más rápida, tardando en completarse apenas dos semanas, en comparación con los 15-30 días requeridos para la digestión anaerobia convencional. Sin embargo, la digestión termofílica es más cara, requiere más energía y resulta menos estable que los procesos de digestión mesofílica.

Los sistemas de tratamiento secundario de aeración prolongada también sirven para facilitar la digestión aerobia de los lodos de aguas negras. Además, puede realizarse un tratamiento aerobio de los lodos procedentes de procesos convencionales de lodos activados mediante la introducción de aire en lugar de favorecer entornos faltos de oxígeno con los procesos de digestión anaerobia. Dado que la digestión aerobia es mucho más rápida que la digestión anaerobia, los costos de capital de la primera son menores. Sin embargo, los costos de explotación de la digestión aerobia suelen ser mucho más elevados debido a los costos energéticos que implica la aeración necesaria para añadir oxígeno al proceso.

El compostaje es también un proceso aeróbico que consiste en mezclar los sólidos procedentes de las aguas residuales con fuentes de carbono tales como el serrín, las virutas o las astillas de madera. En presencia de oxígeno, las bacterias digieren

tanto los sólidos de aguas residuales como las fuentes de carbono añadidas, generando con ello grandes cantidades de calor.

### **Eliminación y utilización de los lodos**

Tras la estabilización (por ejemplo, mediante digestión anaerobia, digestión anaerobia termofílica, digestión aerobia, o procesos de aireación ampliados), los lodos pueden desecarse y eliminarse en vertederos o incineradoras, o bien someterse a un procesamiento posterior con fines beneficiosos. Existen dudas acerca de la incineración de lodos debido a las emisiones de contaminantes a la atmósfera y el elevado costo de combustible complementario, convirtiendo este sistema en el menos atractivo y frecuente de los empleados para el tratamiento y la eliminación de lodos. Sin embargo, la incineración puede ser un procedimiento adecuado en caso de que la composición de los lodos (por ejemplo, debido a las descargas industriales en el sistema de alcantarillado) impida otras opciones de eliminación o utilización.

Tanto los procesos anaerobios como los aerobios de digestión de lodos permiten la destrucción de microorganismos y parásitos causantes de enfermedades en un grado suficiente como para permitir la aplicación segura de los sólidos digeridos resultantes en la tierra como material para la mejora del suelo (con prestaciones similares a la turba) o como fertilizante agrícola, siempre que los niveles de componentes tóxicos sean lo suficientemente bajos.