



**CEDEUS**

Centro de Desarrollo  
Urbano Sustentable

---

# EL AGUA DE TU TERRITORIO



**CEDEUS**

Centro de Desarrollo  
Urbano Sustentable

## **EL AGUA DE TU TERRITORIO**

Guía Docente nº1

## EL CICLO URBANO DEL AGUA: ¿Por qué es necesario un consumo y una gestión sustentable de este recurso?

¿Qué procesos son necesarios para que el agua sea potable? ¿Es posible reutilizar el agua que utilizamos en nuestras casas? ¿Cuáles son los desafíos que deberán afrontar las próximas generaciones con respecto a la utilización de los recursos hídricos?

El estudio del ciclo urbano del agua explica los complejos procesos por los que pasa el agua para que podamos beberla en forma segura: desde que es captada de la naturaleza (lugar de captación) hasta que se recibe en las llaves de las casas, se va por el desagüe y, finalmente, es dispuesta en la naturaleza previo tratamiento. Todo este proceso involucra una cantidad importante de recursos adicionales, como energía y materiales, que permiten que los habitantes tengan agua segura en cantidad y calidad. El objetivo es tomar conciencia sobre las actitudes que se deben adoptar como ciudadanos para utilizar, tanto individual como colectivamente, este escaso recurso de manera sustentable.

En consecuencia, se desarrollarán las siguientes habilidades y actitudes:

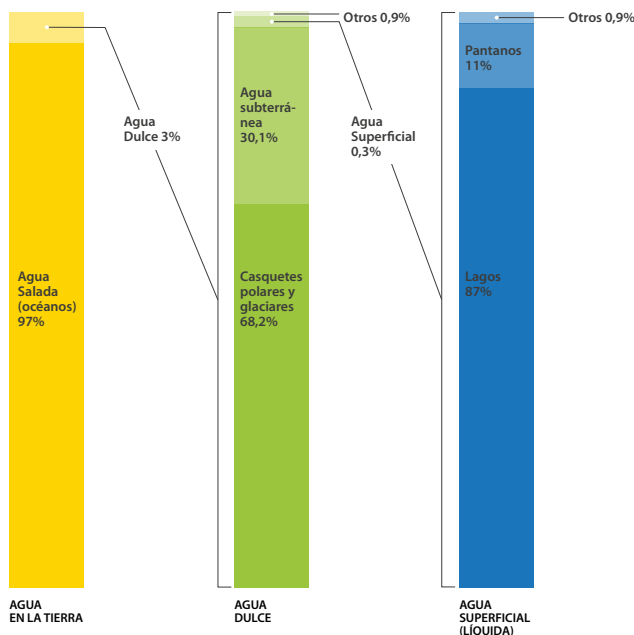
| HABILIDADES  | ACTITUDES  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar e interpretar diferentes tipos de fuentes (textos, gráficos, imágenes).</li> <li>• Elaborar una opinión propia y argumentada.</li> <li>• Valorar y respetar opiniones diferentes a las propias.</li> <li>• Valorar el trabajo en equipo y la toma de decisiones.</li> <li>• Desarrollar una visión holística y sistémica de la sustentabilidad del ciclo urbano del agua.</li> <li>• Desarrollar una visión prospectiva de los desafíos que plantea la gestión sustentable del ciclo urbano del agua.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar conciencia de los deberes y derechos para lograr una gestión sustentable del ciclo urbano del agua.</li> <li>• Reflexionar acerca de la responsabilidad individual y colectiva frente a los desafíos que el cambio climático implica para el ciclo urbano del agua potable.</li> <li>• Comprender que acciones a nivel local pueden tener consecuencias a nivel global.</li> <li>• Participar y comprometerse con las actividades cívicas relacionadas con la sustentabilidad.</li> </ul> |

## EL AGUA POTABLE: UN RECURSO ESCASO QUE DEBEMOS PRESERVAR

### ¿Qué es el agua?

Desde un punto de vista químico, el agua ( $H_2O$ ) es un compuesto formado por dos moléculas de hidrógeno y una molécula de oxígeno. Este compuesto puede estar presente en la naturaleza en forma líquida, sólida o gaseosa. De esta manera, es posible encontrarla en ríos, lagos, glaciales, mares, etc. Siendo el agua dulce solo el 3% del agua total presente en el planeta (gráfico 1).

**Gráfico 1.** Distribución del agua en el planeta Tierra, solo el 3 % del agua es dulce



Fuente: USGS, 1996

El agua es un recurso escaso e indispensable no solo para el hombre y sus actividades productivas, sino que también es un elemento vital para todos los seres vivos del planeta. Sin embargo, producto del crecimiento de la población (crecimiento demográfico) y al mayor estrés sobre los recursos (mayor contaminación y consumo), hoy nos enfrentamos a un escenario de escasez hídri-

ca. Sumado a los efectos del cambio climático este problema se ha acrecentado y amenaza con agudizarse en los próximos años. Por lo tanto, es urgente cuidar el agua y hacer un uso sustentable de él.

### Relación cuenca y extracción de agua: ¿por qué es necesario utilizar de manera sustentable este recurso?

El consumo de recursos naturales en forma sustentable, particularmente el agua, es imprescindible para la subsistencia de nuestra sociedad. Uno de los desafíos es comprender que el uso eficiente y sostenible de los recursos tiene relación con la cuenca hidrológica desde donde son extraídos. Identificar los límites biofísicos que estas cuencas imponen a las actividades humanas, es una tarea pendiente para ser una sociedad sustentable.

En un país con un clima tan diverso como Chile, cada cuenca tiene su propia complejidad y debe ser abordada de manera específica. En el norte, nos enfrentamos a problemas de escasez hídrica; mientras que en el sur, tenemos una mayor disponibilidad de este recurso. Esto significa que los desafíos son distintos como, por ejemplo, la salinidad del agua en la zona norte o la eutrofización o aumento de nutrientes en los lagos del sur (figura 1). Los distintos problemas pueden interferir en los usos que el hombre realiza sobre estos recursos acuáticos (abastecimiento de agua potable, agricultura, recreación, etc.).

**Figura 1.** Proceso de eutrofización en el lago Rapel, VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. El aumento de nutrientes de origen humano hace crecer la flora acuática a tales niveles que compete por el oxígeno necesario para la fauna acuática.



Fuente: Elcachapoal.cl, 2014

Nuestras ciudades funcionan como si fueran un organismo con su respectivo metabolismo: consume recursos desde su cuenca y genera desechos (figura 2), notar que producto de la globalización el impacto se extiende a otras cuencas. Para que la ciu-

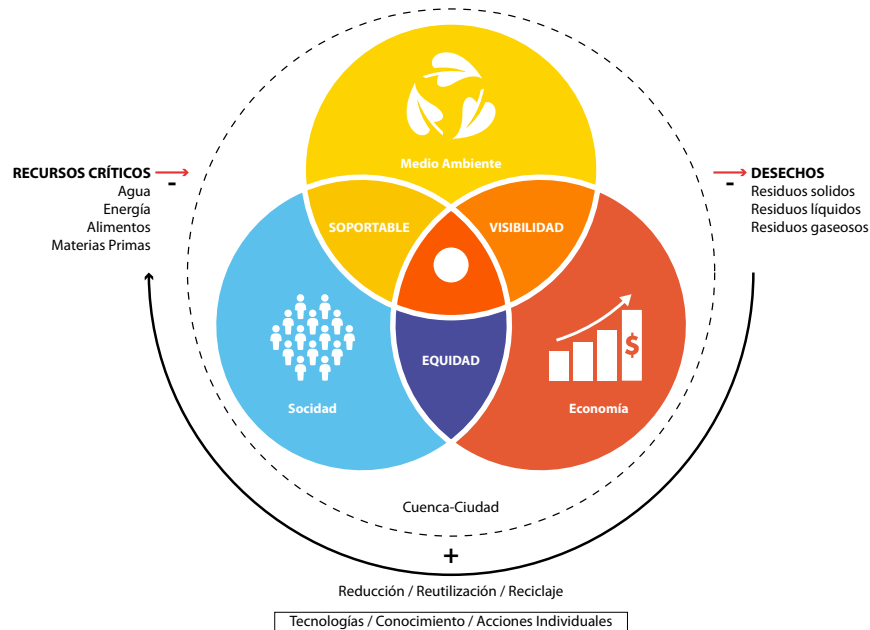
dad utilice de manera sustentable sus recursos, se requiere un menor consumo de estos y una menor generación de desechos (flechas rojas de la figura 2 con símbolo negativo). Esto implica pasar desde un funcionamiento lineal a uno circular, donde los

desechos se transforman en recursos generando una reducción del consumo, a través de la reducción, reutilización y el reciclaje.

Construir una sociedad sustentable implica actuar según el lema: *"Think Globally, Act Locally"* (actuar en forma local, pensar en forma global). Por lo tanto, el aporte de cada uno es fundamental. Aunque parezca insignificante, cada uno puede hacer su contribución, ya que cada gesto individual pesa en la suma total.

**Figura 2.** Metabolismo de una ciudad que consume recursos y genera desechos.

Diagrama tipo de la triada de la sustentabilidad, al considerar los componentes sociales, económicos y ambientales con igual peso se encamina hacia un desarrollo sustentable.



Fuente: Pastén, 2014

El agua es extraída desde una cuenca hidrográfica para sus distintos usos. La cuenca hidrográfica puede coincidir con la cuenca en la cual se ubica el centro poblado (lugar de uso) o ser diferente gracias a la conducción de agua desde cuencas con mayor disponibilidad hacia zonas de escasez. Así, el agua puede ser utilizada en el consumo domés-

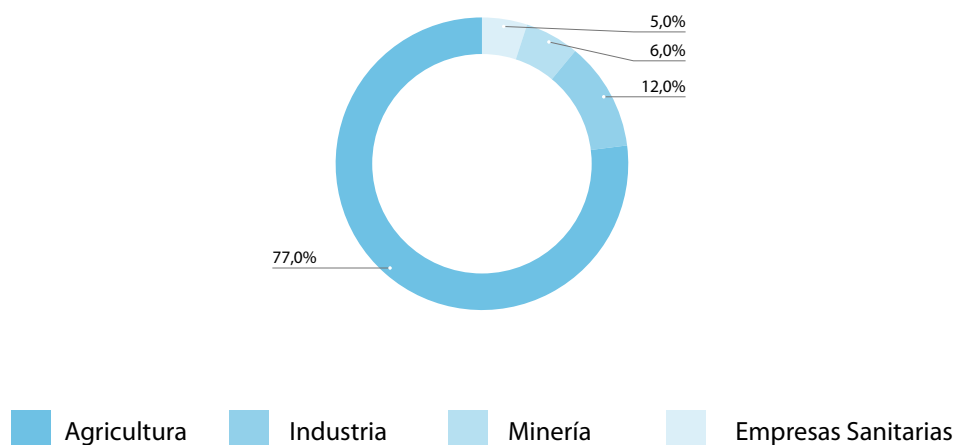
tico o público, en agricultura, en la ganadería, en la industria, en las actividades mineras, para producir energía, etc.

Las modificaciones propuestas al Código de Aguas (código que norma el uso de los recursos hídricos en Chile), actualmente en discusión en el Congre-

so, categorizan los distintos usos del recurso. De esta manera, el agua para subsistencia (consumo humano y saneamiento) tendrá preferencia por sobre los otros usos.

El gráfico representa el uso del agua por distintos sectores (figura 3), existiendo una fuerte competencia por este recurso entre los distintos sectores. Además, el agua para el sector sanitario representa sólo el 5% del total.

**Figura 3.** Uso del agua disponible. El uso por sector sanitario corresponde al 5%



Fuente: DGA, 2016

Cada sector tiene distintas necesidades de calidad. Por ejemplo, el agua apta para el consumo humano debe ser acondicionada principalmente mediante tratamientos físicos y químicos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha elaborado una serie de guías sobre la calidad del agua, en particular del agua potable. En su mayoría, estas guías han sido evaluadas y adoptadas por la legislación chilena.

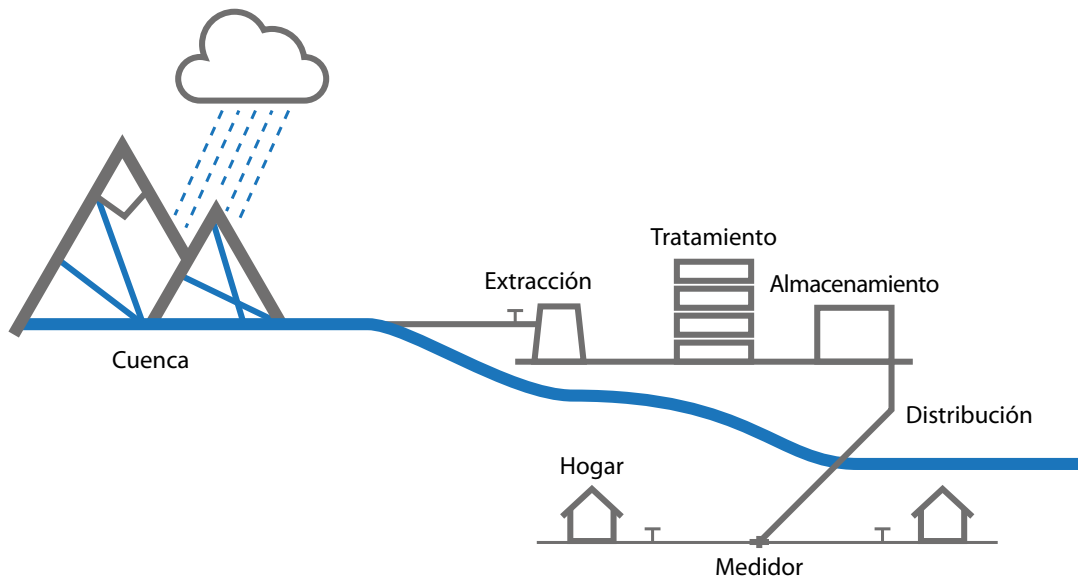
La norma chilena 409 (NCh409 of 2005) regula la calidad del agua potable y su muestreo (parámetros microbiológicos, organolépticos, turbiedad, elementos químicos de importancia para la salud, elementos radiactivos y parámetros de desinfección). En el caso de tópicos de salud pública y de factibilidad técnica, la concentración máxima de

arsénico que puede contener el agua potable corresponde a 10 µg/L (o 0,01 mg/L). Este contaminante tiene efectos crónicos en la salud de la población, que va desde efectos dérmicos a cáncer.

La OMS promueve planes para identificar y prevenir riesgos antes de que el agua se contamine denominados "Planes de Seguridad del Agua" (PSA). Además, a partir del 2015 entrega normas sobre las aguas residuales. Los PSA buscan garantizar la seguridad en el abastecimiento de agua potable mediante la evaluación y la gestión de peligros y de los riesgos que abarcan todas las etapas del abastecimiento de agua, desde la captación hasta su distribución al consumidor (figura 4). Es decir, desde la cuenca hasta su uso, cambiando así, el en-

foque tradicional puesto que antes no se incluía la cuenca. Junto con esto, hoy cobra importancia el tratamiento del agua servida, cerrando así el ciclo urbano del agua.

**Figura 4.** Enfoque actual del PSA que incluye la cuenca



Fuente: OPS, 2015

## RESPONSABILIDAD HUMANA PARA UNA GESTIÓN SUSTENTABLE DEL CICLO URBANO DEL AGUA

### Las etapas del ciclo urbano del agua

Del mismo modo que hay un ciclo natural del agua o ciclo hidrológico, las interferencias del ser humano han originado un ciclo urbano del agua el cual abarca todos los procesos desde la captación del agua hasta su devolución a la naturaleza. Las etapas del ciclo urbano del agua son:

1. Captación o extracción: conjunto de instalaciones de regulación, derivación y conducción de las aguas desde su fuente de suministro a las instalaciones de tratamiento.

2. Estación de tratamiento de agua potable (ETAP) o Planta Potabilizadora: conjunto de instalaciones de potabilización necesarias para que el agua tenga la calidad necesaria para el consumo humano.

3. Red de aducción: conjunto de tuberías y elementos de control que permiten trasladar agua desde la ETAP hasta los depósitos de control.

4. Depósito o almacenamiento: infraestructuras necesarias para acumular agua y permitir su posterior distribución.

5. Red de distribución: tuberías y otros elementos que partiendo del depósito de agua llegan hasta los domicilios.



6. Red de saneamiento o alcantarillado: conjunto de tuberías y otros elementos que permiten la evacuación de las aguas servidas hasta las instalaciones de depuración/tratamiento.

7. Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS): conjunto de instalaciones necesarias para tratar el agua del sistema de saneamiento hasta que el nivel de contaminación sea lo suficientemente bajo para devolverla a la naturaleza.

## AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN CHILE

Chile tiene una buena cobertura de agua potable, así como de recolección y tratamiento de aguas servidas (tabla 1). De esta manera, el país cumple con los Objetivos de Desarrollo del Milenio propuestos por las Naciones Unidas, tanto para el acceso a agua potable como para su saneamiento (IANAS, 2015). A nivel nacional, el 48,3 % del agua potable urbana producida proviene de agua superficial y el 51,7% de agua subterránea (SISS, 2015). En esta estadística, se considera como agua superficial la desalinización del agua de mar, como ocurre actualmente en las plantas de Antofagasta y Tal Tal. Aunque el uso de agua de mar como fuente de agua aumenta la disponibilidad del recurso, este proceso implica un gasto importante de energía y genera un alto volumen de agua de descarte, por lo que tiene un alto costo de producción, lo cual pone en duda la sustentabilidad de este proceso.

**Tabla 1.** Coberturas urbanas de Agua Potable y alcantarillado 2004-2015

| Año  | Cobertura de agua potable (%) | Saneamiento        |                                       |
|------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
|      |                               | Alcantarillado (%) | Tratamiento de aguas servidas (%) (*) |
| 2004 | 99,7                          | 94,8               | 71,5                                  |
| 2005 | 99,8                          | 94,9               | 73,3                                  |
| 2006 | 99,8                          | 95,2               | 81,9                                  |
| 2007 | 99,8                          | 95,2               | 82,3                                  |
| 2008 | 99,8                          | 95,3               | 82,7                                  |
| 2009 | 99,8                          | 95,6               | 83,3                                  |
| 2010 | 99,8                          | 95,9               | 86,9                                  |
| 2011 | 99,8                          | 96,1               | 94,20                                 |
| 2012 | 99,90                         | 96,29              | 99,82                                 |
| 2013 | 99,90                         | 96,51              | 99,93                                 |
| 2014 | 99,90                         | 96,65              | 99,93                                 |
| 2015 | 99,97                         | 96,80              | 99,85                                 |

Fuente: SISS, 2015

\* Hasta el año 2010 la cobertura de tratamiento de aguas servidas se calculó sobre el total de la población urbana estimada en cada región, desde el año 2011 la cobertura se calcula sobre la población conectada al sistema de alcantarillado. Cabe señalar que en la tabla 1 se incluyen los emisarios submarinos como sistema de tratamiento. Estos últimos consisten en un tratamiento principalmente físico donde se vierte el agua al mar.

### ¿Cuál es la situación a nivel mundial?

Según las Naciones Unidas (ONU, s.i), desde el 1990 hasta la fecha, 2.600 millones de personas en el mundo han tenido acceso a fuentes de agua potable de mejor calidad. Así, entre 1990 y 2015, la proporción de la población que utiliza fuentes de buena calidad aumento del 76% al 91%. A pesar de este avance, 663 millones de personas aún no tienen acceso al agua potable y aproximadamente 2.400 millones de personas carecen de servicios básicos de saneamiento, como baños o letrinas. Además, la falta o deficiencias en el sistema de tratamiento de aguas servidas en diferentes regiones del planeta traen como consecuencia que actualmente 1.800 millones de personas en el mundo utilicen una fuente de agua contaminada con materia fecal.

En consecuencia, el mayor estrés sobre los recursos hídricos, la mala calidad del agua y el saneamiento inadecuado de las aguas servidas influyen negativamente en la seguridad alimentaria, los medios de subsistencia y en las oportunidades de desarrollo para las familias pobres de todo el mundo (ONU, s.i). Por lo tanto, el consumo y una gestión sustentable aparecen como desafíos fundamentales del ciclo urbano del agua en el marco de la Agenda 2030 para el desarrollo sustentable. De acuerdo a este programa internacional de las Naciones Unidas, garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y saneamiento es fundamental para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras en los próximos quince años.

## ¿Cómo se obtiene el agua potable?

El agua que consumimos en zonas urbanas presenta una calidad incierta, lo cual podría ser causado por la acción de diversos factores como: la variabilidad de la fuente de procedencia (ríos, embalses, pozos), la influencia de actividades industriales, la proximidad de poblaciones humanas y la discontinuidad del caudal natural en diferentes épocas del año. Por lo tanto, para poder consumirla sin riesgos es necesario llevar a cabo un proceso complejo que permite transformar el agua natural en potable. Esto implica que las plantas potabilizadoras o estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) se diseñan en función de los tipos de impurezas que deseamos corregir y al uso que deseamos destinar al agua. Es decir, no existe un único sistema de potabilización que sirva para todo, sino que la tecnología utilizada varía según las características del lugar y si la fuente de contaminación es difusa o puntual.

La contaminación difusa es por una fuente no puntual, como por ejemplo las escorrentías de zonas agrícola. En cambio, la puntual es verter un residuo líquido u otro contaminante en un lugar específico, por lo que se puede identificar y localizar la fuente. Una ETAP consta de varias etapas donde se realizan diversos procesos físico-químicos. Normalmente, en una planta se realizan los siguientes procesos:

**A. Desbaste:** en esta zona se retiran del agua los sólidos más grandes (piedras, arena, ripio) y se evita que los elementos que flotan (ramas, plásticos o residuos) ingresen a las bombas. Para esto se debe captar el agua desde una cierta profundidad minimizando la presencia de sólidos de gran tamaño. Posteriormente se pasa el agua a través de un grupo de rejas con un sistema automático de limpieza donde se retienen los sólidos grandes.

**B. Tratamiento físico-químico:** Con el objetivo de clarificar el agua, este elemento es sometido a varios procesos para los que se requiere un tanque de

mezcla rápida (coagulación), un tanque de mezcla lenta (floculación) y un tanque sedimentador.

Los tres procesos que se requieren para la clarificación del agua son:

**B.1 Coagulación:** Consiste en la desestabilización y agrupación de los sólidos suspendidos en el agua en pequeñas masas llamadas coágulos. Para lograr esto, se hace pasar el agua a través de un canal donde se mezcla con un coagulante como el sulfato de aluminio y con polímeros, que son en general elementos aglomerantes de partículas.

El objetivo de la coagulación es favorecer la unión de partículas de tamaño pequeño que se encuentran en suspensión en el agua, formando así otras de mayor tamaño y peso. Por lo tanto, la coagulación es necesaria cuando la velocidad de la sedimentación de las partículas pequeñas es muy baja.

Adicionalmente, la coagulación contribuye a:

- Remover la turbidez orgánica e inorgánica que no logra sedimentarse rápidamente
- Remover el color verdadero y aparente
- Destruir algas y plancton en general
- Eliminar sustancias productoras de sabor y olor y precipitados químicos suspendidos

**B.2 Floculación:** consiste en someter al agua a una agitación, mezcla o movimiento lento que permite la aglomeración de las partículas coloidales (coágulos) en otras de mayor tamaño llamadas flóculos. Estos flóculos son inicialmente muy pequeños y al unirse entre sí forman grumos o aglomerados de mayor tamaño capaces de sedimentar gracias a su mayor peso. El proceso de floculación se realiza en una unidad distinta a la coagulación compuesta por "floculadores" que realizan dos tipos de agitación:

- Mecánica: con agitadores de paletas rotativas que son accionadas a motor.

- **Hidráulica:** el agua pasa a través de placas divisorias, subiendo y bajando por efecto de la presión hidráulica.

**B.3 Sedimentación:** Tras la formación de los flóculos, el agua es conducida a decantadores o clarificadores cuyo objetivo es separar los flóculos del agua por efecto de la gravedad. De esta forma, los flóculos que ya tienen peso y tamaño suficiente precipitan al fondo del decantador. Para completar este proceso el agua debe permanecer en los decantadores durante varias horas. Enseguida, el agua purificada que queda en el nivel superior del decantador se extrae por tuberías con orificios de captación y es conducida por medio de canales y conductos a unidades de filtrado donde se realiza la siguiente fase. Por otra parte, periódicamente se debe realizar la extracción de los flóculos precipitados desde el fondo del decantador.

**C. Filtración:** consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso (arena, antracita, carbón) que actúa como filtro. Durante este proceso, el agua atraviesa distintas capas filtrantes, quedando retenidos la mayoría de los sólidos en suspensión y los coloidales que no fueron eliminados en las etapas anteriores. Así, tras atravesar varios filtros, el agua llega al fondo de las unidades de filtrado menos turbia, lo que permite que sea recolectada y conducida mediante tuberías a la siguiente etapa.

**D. Desinfección:** consiste en la destrucción de los microorganismos causantes de enfermedades o de los agentes patógenos que aún podrían encontrarse presentes en el agua. Existe una amplia variedad de desinfectantes tanto físicos (rayos ultravioletas y calor) como químicos (cloro, yodo, bromo, ozono). No obstante, en el tratamiento de agua potable el desinfectante comúnmente utilizado es el cloro. Por lo tanto, cuando el agua sale de los filtros de arena, se le inyectan directamente sustancias cloradas a través de equipos de alta precisión que dosifican entre 0,6 y 0,8 miligramos de cloro por litro de agua. Las cantidades agregadas de cloro

incluyen un componente adicional denominado “cloro residual”, que asegura una mayor protección del agua hasta que sea consumida en los hogares. Tras revisar las etapas y procesos llevados a cabo en la planta de potabilización, es necesario señalar que si la fuente de agua presenta contaminantes específicos se deben agregar otras etapas de tratamiento y/o modificar algunas. Al respecto, cabe señalar que los sistemas de tratamiento de agua potable están diseñados para ciertos parámetros con respecto a la calidad del agua que ingresa, un cambio de estas variables podría no asegurar la calidad del agua de salida.

Posteriormente, en la red de aducción, el agua potabilizada es conducida a estanques situados normalmente en lugares más altos del punto de abastecimiento para ser almacenada. Finalmente, el agua lista para el consumo ingresa a la red de distribución. Aquí, varias tuberías llevan el agua a la matriz más cercana a tu casa e ingresa al arranque domiciliario conformado por un medidor y una llave de paso.

### ¿En qué tipo de actividades cotidianas utilizamos el agua potable?

En el hogar el agua es utilizada para distintos usos, entre los que incluyen la ducha, el lavado de loza o el inodoro entre otros. La tabla 2 nos indica el consumo promedio de agua en Chile de estas y otras actividades domésticas.

**Tabla 2.** Consumo de agua aproximado en el hogar

| Actividades                                   | Litros aproximados |
|---|--------------------|
| Lavarse las manos                             | 2-18 litros        |
| Lavarse los dientes                           | 2-12 litros        |
| Llenar la tina del baño                       | 200-300 litros     |
| Ducharse                                      | 80-120 litros      |
| Poner una lavadora                            | 60-90 litros       |
| Utilizar el lavavajillas                      | 18-30 litros       |
| Lavar los platos a mano                       | 15-30 litros       |
| Vaciar el estanque (nuevos) del WC            | 6-10 litros        |
| Vaciar el estanque (antiguos) del WC          | 18-22 litros       |
| En la cocina y para beber                     | 10 litros/día      |
| Limpiar la casa                               | 10 litros/día      |
| Lavar el auto                                 | 400 litros         |
| Regar 100 m <sup>2</sup> de césped del jardín | 1000 litros        |

Fuente: SISS, 2011

De acuerdo con las guías de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SSIS), un consumo diario menor o igual a 100 L/habitante/día (litros por habitante por día), es un uso eficiente del recurso. Valores entre 100 – 200 L/habitante/día indican que el consumo puede reducirse para ser eficiente cambiando levemente los hábitos. Valores superiores o iguales a 200 L/habitante/día requieren modificar los hábitos en forma drástica y revisar las instalaciones del agua.

### ¿Cómo disminuir el impacto sobre el medioambiente? El circuito de tratamiento del agua servida

El agua servida o residual, es el agua que resulta del uso doméstico o industrial. Se denomina residual puesto que una vez utilizada constituye un residuo, es decir, que no sirve para el uso directo. Dado que las aguas servidas contienen contami-

nantes orgánicos e inorgánicos, no pueden ser vertidas directamente en la naturaleza ya que producirían un impacto ambiental negativo.

La contaminación del agua con aguas residuales que contienen bacterias y su uso como agua de riego de hortalizas y frutas, que luego son consumidas por la población, puede generar enfermedades como tifus, cólera y hepatitis. Por lo tanto, el objetivo del tratamiento de agua servida es eliminar sus contaminantes a través de procesos físicos, químicos y biológicos, reduciendo así el efecto de las aguas que se vierten en el medioambiente.

El tratamiento de las aguas residuales involucra una serie de procesos (tabla 3) que pueden variar ligeramente en las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Sin embargo, en la mayoría de estas plantas el proceso incluye una etapa de pretratamiento y de dos fases de tratamiento primario y secundario. Entre medio de las fases se in-

cluyen algunas etapas de decantación e idealmente una etapa terciaria de eliminación de N y P (Ver tren de tratamiento en figura 5).

**Tabla 3.** Etapas del tratamiento de aguas servidas

| ETAPAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS |  |                       |
|---|--|-----------------------|
| Etapa   | Función  | Tipo de procesos      |
| Pretratamiento                                      | Eliminación de sólidos                         | Físico y/o químico    |
| Tratamiento primario                                | Eliminación de materia en suspensión           | Físico                |
| Tratamiento secundario                              | Eliminación de materia orgánica biodegradable  | Biológico y físico    |
| Tratamiento terciario                               | Eliminación de nitrógeno y/o fósforo           | Biológico y/o químico |
| Tratamiento de lodos                                | Estabilización y reducción de volumen de lodos | Físico y/o químico    |

Fuente: Cheremisinoff, 2001

El pretratamiento, son las primeras etapas de depuración a las que se somete el agua servida a su llegada a la PTAS. Se trata principalmente de operaciones en serie de carácter físico donde se realiza la separación o la eliminación de las materias de mayor tamaño y/o peso que pueden estar presentes en el agua. Enseguida, el agua es sometida a una serie de etapas de carácter físico y en ocasiones químico que constituirán el tratamiento primario. Posteriormente, tiene lugar el tratamiento secundario que es un procedimiento biológico que permite la eliminación de la materia orgánica. En ocasiones es necesario un tratamiento terciario que contribuye a eliminar otros compuestos como nitrógeno y fósforo.

A continuación, describiremos cada una de las etapas realizadas en las PTAS y los procesos que intervienen en cada una de ellas:

## A. Pretratamiento:

**A.1 Rejas y tamices:** Los enrejados son los primeros métodos utilizados para eliminar los contami-

nantes de mayor tamaño de las aguas servidas. Las instalaciones de enrejado pueden clasificarse en finas y gruesas. Su objetivo es proteger el equipo de la planta contra una reducción en la eficacia de la operación o contra posibles daños físicos.

**A.2 Separación de arenas y grasas:** Los desarenadores son un tipo de sedimentadores que son utilizados para proteger las partes móviles de los equipos mecánicos de la abrasión. De esta manera, se evitan obstrucciones en las conducciones y la presencia de materia inerte en las unidades posteriores de tratamiento.

Algunas unidades cuentan con un sistema de aireación que permite la inyección de aire, separando así las grasas y aceites. Este proceso se basa en la separación por gravedad que tiene lugar con la disminución de velocidad del agua. Esta velocidad no debe disminuir excesivamente a fin de evitar la precipitación de materia orgánica. El proceso es de carácter exclusivamente físico, y las partículas sedimentan de manera independiente las unas de las otras dando lugar a los que se denomina sedimentación discreta.

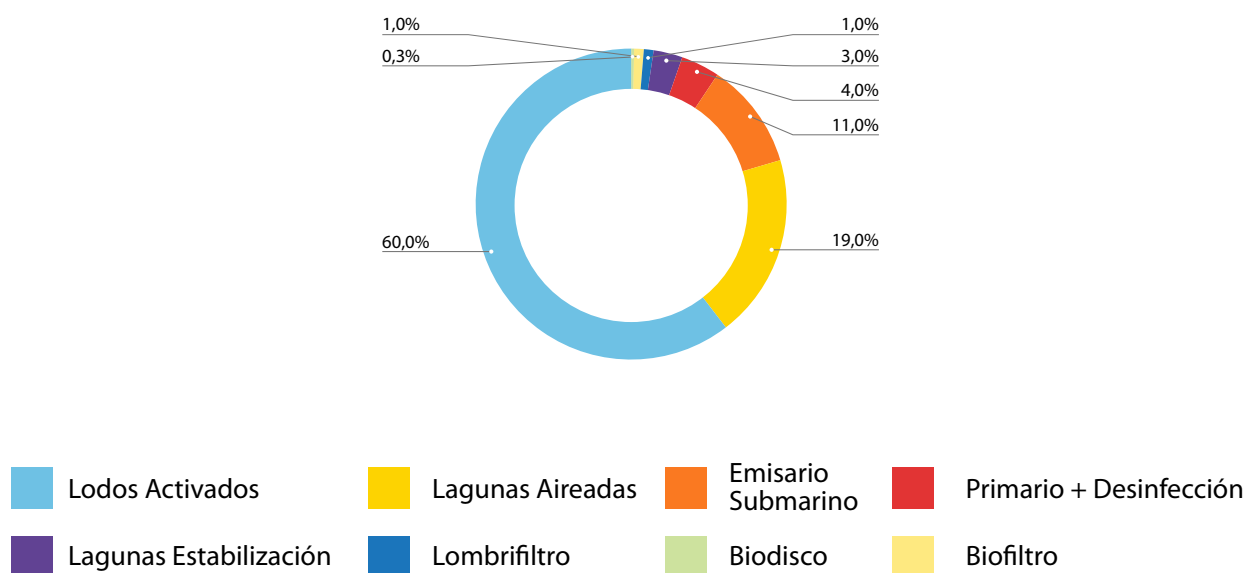
**B. Tratamiento primario:** Puede ser físico o físico-químico y se realiza en tanques de sedimentación para remover los sólidos en suspensión y retirarlos como lodo desde el fondo de los tanques. Los tanques de sedimentación primaria son grandes tanques circulares o rectangulares de unos 3 metros de profundidad con pantallas deflectoras a la entrada (poseen orificios para que el agua penetre a una determinada velocidad) y vertederos a la salida. En el tratamiento primario sin coagulantes (tratamiento físico) se suele eliminar entre el 55% y el 65% de los sólidos suspendidos. Esta eliminación depende del tiempo de retención hidráulico en el decantador primario. El tiempo de retención hidráulico es el tiempo de permanencia del agua servida en el decantador primario. Al igual que en el proceso de potabilización del agua, el proceso físico de decantación puede ser “acelerado” con la adición de coagulantes y floculantes de forma que el tratamiento primario incluye operaciones físicas y químicas. No obstante, la coagulación y la

floculación son procesos poco frecuentes en el tratamiento de aguas servidas domésticas siendo su aplicación más común en el tratamiento de aguas servidas de origen industrial.

**C. Tratamiento secundario:** Son aquellos procedimientos en los cuales se emplea una población diversa de microorganismos con el fin de eliminar la materia orgánica del agua servida. De esta manera, el proceso natural de descomposición de la materia orgánica biodegradable llevado a cabo por las bacterias es intensificado a escala industrial en las PTAS.

Existen diversos procesos biológicos utilizados para el tratamiento de aguas servidas tales como lagunas aerobias, filtros percoladores, humedales artificiales, biodiscos, etc. Sin embargo, a nivel mundial es el proceso de lodos activados el más utilizado para realizar el tratamiento biológico de aguas servidas, al igual que a nivel nacional (figura 6).

**Figura 5.** Tecnologías utilizadas en el tratamiento de aguas servidas a nivel nacional



Fuente: SISS, 2015

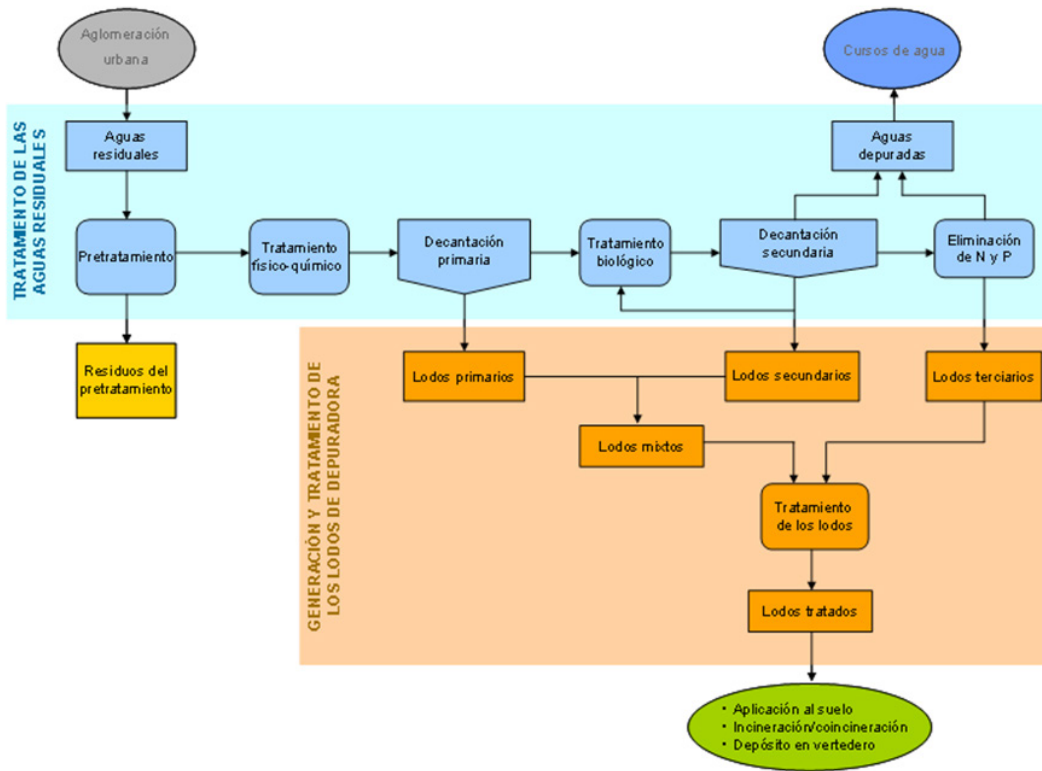
Se incluyen emisarios submarinos, sin embargo, estos no son considerados un sistema de tratamiento a nivel mundial

**C.1 Lodos activados:** Este proceso fue desarrollado inicialmente en 1914 y desde entonces, se han desarrollado un número importante de modificaciones con el objetivo de mejorar el proceso y buscar nuevas aplicaciones. De todas formas, las configuraciones de lodos activados mantienen cuatro características fundamentales, que se muestran en el siguiente esquema general (figura 7), que son considerar tanque de aireación, decantador, purga y recirculación.

Para eliminar la materia orgánica del agua residual se utiliza una mezcla de microorganismos conocida como lodo activo que se mantiene aireada en el reactor biológico (tanque). Este reactor biológico se denomina tanque de aireación, los cuales suelen ser tanques abiertos provistos de sistemas de aireación que inyectan oxígeno para que los microorganismos puedan degradar la materia orgánica. La mezcla de sólidos es separada de la corriente de agua servida en un sedimentador (decantador secundario), en forma idéntica a los decantadores primarios, produciendo así un efluente de elevada calidad y un lodo concentrado. Parte del lodo concentrado es ingresado nuevamente al reactor biológico, en un circuito de recirculación, mientras otra parte (lodos en exceso) es eliminada del sistema para alcanzar un estado estacionario. La purga se puede realizar a la salida del reactor o del lodo espesado en el decantador, siendo esta última la opción más utilizada.

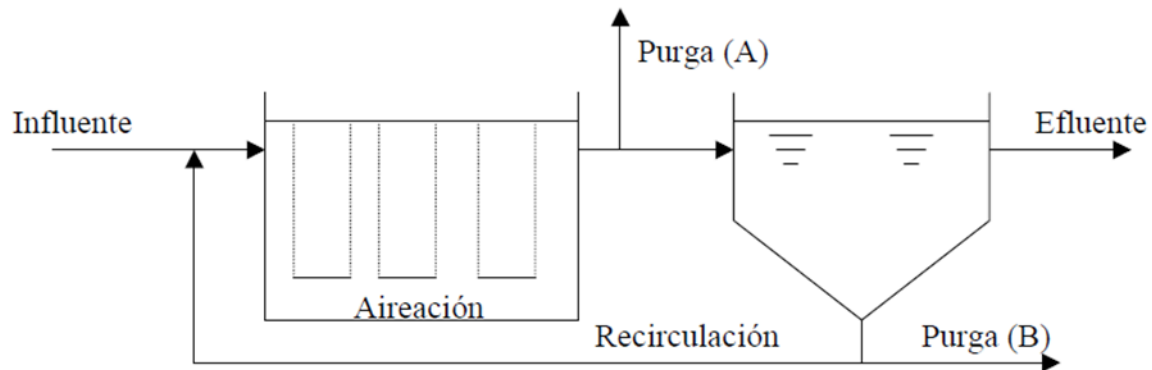


**Figura 6.** Tren de tratamiento de aguas residuales con lodos activados



Fuente: Tuset, 2019

**Figura 7.** Esquema simplificado de etapa de tratamiento de lodos activados



Fuente: Mañunga, 2012

**D. Tratamiento terciario:** Inicialmente, los sistemas de tratamiento biológico tan solo se diseñaron con la finalidad de eliminar materia orgánica y sólidos en suspensión de las aguas (tratamiento secundario). Sin embargo, poco a poco se han ido desarrollando sistemas más complejos (tratamiento terciario o avanzado) destinados a eliminar otro tipo de sustancias. De este modo, las aplicaciones de estos sistemas incluyen:

- Transformación del nitrógeno amoniacal a nitratos (nitrificación)
- Eliminación de nitratos (desnitrificación)
- Eliminación de fósforo
- Eliminación de compuestos orgánicos tóxicos
- Eliminación de compuestos orgánicos volátiles (olores).
- En Chile, este tratamiento más intensivo se utiliza principalmente cuando el agua servida tratada va a ser vertida en medios acuáticos muy sensibles a la contaminación por nutrientes, evitando así la eutrofización del mismo.

**E. Tratamiento de lodos:** Como resultado del tratamiento de aguas servidas en las PTAS se producen lodos que son la corriente residual que se extrae tanto en el decantador primario como secundario.

Los lodos se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable y depende de la cantidad de contaminación del agua servida inicial, así como de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo. Generalmente los lodos se tratan en la propia PTAS para reducir su contenido en agua, en agentes patógenos y también para asegurar la estabilidad de la materia orgánica.

Los tratamientos biológicos más frecuentes para lodos son: digestión anaerobia, estabilización ae-

robía y compostaje. En algunos casos estos lodos son tratados fuera de las plantas, en instalaciones específicas de tratamiento de residuos.

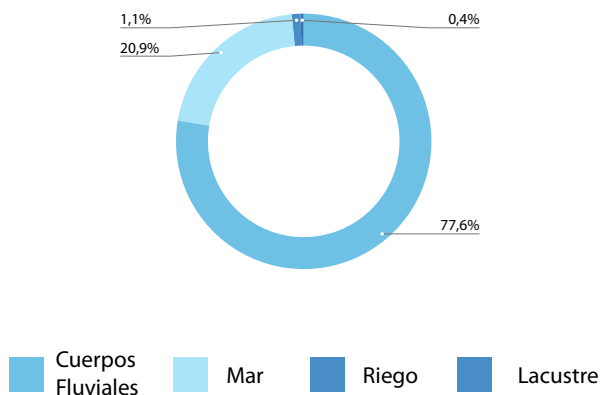
Una vez tratados, estos pueden ser sometidos a otras operaciones que aseguran un destino final adecuado y ambientalmente seguro. De esta manera, los lodos pueden ser aplicados en los suelos agrícolas siempre y cuando no contengan metales u otros contaminantes dañinos para el suelo. En caso contrario, los lodos suelen ser incinerados en instalaciones de incineración de residuos o co-incinerados junto a otros materiales en cementeras, para luego ser depositados en rellenos sanitarios. Sin embargo, esta última opción es la menos preferible, puesto que en este caso el lodo se considera un desecho y por lo tanto tiene un mayor impacto ambiental.

Después de someterse a todos estos procesos, el agua servida puede ser dispuesta en aguas marinas, continentales superficiales (esteros, ríos, lagos) y aguas subterráneas (Gráfico 4), o bien ser usada en forma segura para riego y/o en otros sectores que no requieran una alta calidad del agua a utilizar.

De todas formas, para mayor seguridad, existen normas que regulan su disposición final. En consecuencia, el agua servida tratada debería ser considerada no sólo como un desecho, sino que como un recurso que es posible reutilizar.

A propósito de la reutilización, un paso intermedio en el tratamiento del agua servida podría incluir la separación de las aguas grises. Es decir, separar aquella agua proveniente de la ducha, el lavamanos, la tina de baño, la cual podría ser reutilizada previo tratamiento.

**Figura 8.** Destino final de las aguas servidas tratadas en el país-2015. (Total de 1.185 millones de metros cúbicos al año)



Fuente: SISS, 2015

### Institucionalidad actual del sector sanitario en Chile

El marco regulatorio e institucional del sector sanitario chileno hace una diferencia entre ámbito urbano y rural.

A nivel urbano, hasta diciembre de 2015, el sector sanitario estaba compuesto por 52 empresas sanitarias, atendiendo áreas de concesión exclusivas en las 15 regiones del país y abarcando un universo de más de 16 millones de habitantes en 368 localidades. El 95,8% de los clientes del sector es atendido por empresas operadoras de propiedad privada, mientras que un 4,2% corresponde a usuarios de concesionarias del Estado, de municipalidades o cooperativas.

En relación a las empresas sanitarias de propiedad privada, existe un ente regulador de carácter estatal denominado "Superintendencia de Servicios Sanitarios" dependiente del Ministerio de Obras Públicas. Este organismo se encarga de:

- La fijación de tarifas por los servicios de agua potable y de alcantarillado de aguas servidas que prestan las empresas sanitarias;

- El otorgamiento de concesiones de servicios sanitarios;
- La fiscalización de las empresas sanitarias, particularmente respecto de la calidad del servicio prestado;
- La fiscalización de los establecimientos industriales generadores de residuos industriales líquidos (riles), que efectúan descargas a las redes públicas de alcantarillado.

A diferencia del ámbito urbano, el abastecimiento de agua potable en el ámbito rural se ha realiza a través del Programa de Agua Potable Rural (PAPR) el cual tiene por objetivo abastecer de agua potable a las localidades concentradas y semiconcentradas. Se trata de un programa estatal dependiente del Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección de Obras Hidráulicas. Este programa entró en vigor en 1964 y desde entonces ha permitido abastecer de agua potable a alrededor de 1.635.900 habitantes, lo que equivale aproximadamente al 99% de la población que habita en zonas concentradas. La gestión de estos sistemas no es privada, sino que de los propios beneficiarios a través de comités o cooperativas. El PAPR no incorpora el alcantarillado ni el tratamiento de

aguas servidas. Es por esto que actualmente existe un Proyecto de Ley que regula los “Servicios Sanitarios Rurales”.

### Deberes y derechos para favorecer una gestión sustentable del ciclo urbano del agua

La recomendación principal es reducir el consumo de agua, reusar y reciclar. Actuar bajo esta recomendación se traduce en los siguientes deberes:

- Consumir menos agua, lo que implica ser cuidadosos y conscientes de la importancia del recurso y de su escasez.
- Reducir las pérdidas del recurso en todo su ciclo. Por ejemplo, revisar constantemente las instalaciones de agua potable verificando si existen fugas o pérdidas.
- Reutilizar el agua, favoreciendo el uso de aguas grises tratadas, la acumulación de las aguas lluvias y la infiltración de las napas.
- Cuidar y utilizar de manera responsable las fuentes de agua, especialmente de nuestras reservas de agua dulce como son los glaciares.
- Reducir el impacto de las actividades humanas en las fuentes de agua evitando todo tipo de contaminación.

La SISS en su manual para un consumo responsable en el hogar entrega varios consejos, entre ellos: Tomar conciencia de la importancia del agua para la vida en el planeta, enseñando y compartiendo con el resto de las personas lo que implica usar de manera responsable este recurso.

- Revisar nuestro consumo de agua, controlando semanalmente el medidor de nuestro hogar.
- Usar electrodomésticos de bajo consumo de agua.

- Mantener el sistema de grifería del hogar en buen estado, sin fugas.
- Realizar un diseño adecuado del jardín de manera que permita un riego eficiente.
- Plantar especies adecuadas al clima, para reducir el consumo y favoreciendo a la vez un riego eficiente.
- Entre otros, revisar <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-8644.html>

Aunque la suma de estos gestos individuales puede contribuir a un uso sustentable de los recursos hídricos, es necesario también adoptar comportamientos colectivos. Es decir, se deben implementar medidas en las distintas actividades productivas del país (minería, agricultura, industria, etc.) que favorezcan un uso cuidadoso de las fuentes de agua de nuestro país. A la vez, la explotación de los recursos hídricos debe permitir un crecimiento económico que garantice a todos los habitantes el acceso a servicios básicos (salud, educación, previsión social, etc.) de calidad.

En otras palabras, actuar en el marco de la sustentabilidad comprende una toma de conciencia individual y colectiva acerca de la necesidad de preservar las fuentes de agua, para que las próximas generaciones puedan usarlas en la satisfacción de sus necesidades. Por lo tanto, el manejo sustentable del ciclo urbano del agua potable implica desarrollar actitudes cívicas, para así construir una ciudadanía activa y comprometida en las decisiones políticas que conlleva la explotación y utilización de los recursos hídricos no sólo del país, sino que también del planeta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **Cheremisinoff, N. P.** (2001). Handbook of water and wastewater treatment technologies. Butterworth-Heinemann.
- **Dirección General de Aguas** (2016). *Atlas del Agua. Chile 2016*. <http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>
- **González, M** (2000) *Bienes comunes y conflictos por los recursos en las sociedades rurales, siglo XIX y XX*, Historia social N° 38 pp. 95-116. Valencia, España [https://www.jstor.org/stable/40340738?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/40340738?seq=1#page_scan_tab_contents)
- **Elcachapoal** (2014) *Mesa Ambiental de embalse Rapel se reúne para coordinar trabajo 2014*. En: <http://elcachapoal.cl/ec/2014/04/02/mesa-ambiental-de-embalse-rapel-se-reune-para-coordinar-trabajo-2014/>
- **IANAS** (2015). *Desafíos del agua urbana en las Américas*. Perspectivas de las Academias de la Ciencia. En [https://www.ianas.org/docs/books/Desafios\\_Agua.html](https://www.ianas.org/docs/books/Desafios_Agua.html)
- **Ivars, J** (2013) *¿Recursos naturales o bienes comunes naturales? Algunas reflexiones* [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-45082013000200005](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-45082013000200005)
- **Mañunga, T., Rodríguez-Victoria, J. A., & Torres-Lozada, P.** (2012). *Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto*. Ingeniería y Desarrollo, 30(2), 246-260.
- **ONU** (s.i.) *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. En <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- **Organización Panamericana de la Salud** (2015). *Los planes de seguridad del agua son el medio más eficaz para garantizar la inocuidad del agua potable y proteger la salud pública*. En: [https://www.paho.org/mex/index.php?option=com\\_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499](https://www.paho.org/mex/index.php?option=com_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499)
- **Ostrom, E** (2000) *El gobierno de los bienes comunes, Región y sociedad volumen XIV, N° 24 año 2002*. México [http://lanic.utexas.edu/project/etext/colson/24/24\\_10.pdf](http://lanic.utexas.edu/project/etext/colson/24/24_10.pdf)
- **Pastén, P.** (2014) **La crisis de los residuos: una crisis del diseño**. Revista Diseña. pp. 61. En [http://www.revistadisena.com/pdf/revistadisena\\_7\\_la-crisis-de-los-residuos.pdf](http://www.revistadisena.com/pdf/revistadisena_7_la-crisis-de-los-residuos.pdf)
- **Rasse, A.** (2015) *Juntos pero no revueltos. Procesos de integración social en fronteras residenciales entre hogares de distinto nivel socioeconómico*. EURE, 41 (122), 125 – 143. <http://www.eure.cl/index.php/eure/article/view/559>
- **Ruiz - Tagle, J.** (2016). *La segregación y la integración en la sociología urbana: revisión de enfoques y aproximaciones críticas para las políticas públicas*. Revista INVI, 31(87), 9-57
- **Sabatini, F., Cáceres, G., y Cerda, J.** (2001). *Segregación residencial en las principales ciudades chilenas: una tendencia de las tres últimas décadas y posibles cursos de acción*. EURE, 27(82), 21-42
- **SISS** (2011) *Manual para el hogar. Serie del consumo responsable*. En: [https://www.siss.gob.cl/586/articles-8644\\_Manual\\_para\\_hogar.pdf](https://www.siss.gob.cl/586/articles-8644_Manual_para_hogar.pdf)

- **SISS** (2015). *Informe de Gestión del Sector Sanitario 2015*. En: [http://www.siss.cl/577/articles-15784\\_inf\\_gest.pdf](http://www.siss.cl/577/articles-15784_inf_gest.pdf)
- **Tuset, S.** (2019) *Procesos y tecnologías para el tratamiento de lodos*. En: <https://blog.condorchem.com/category/agricultura-y-ganaderia/>
- **UNESCO** (2005) **Manual en el Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible**. [http://www.urv.cat/media/upload/arxiu/catedra-desenvolupament-sostenible/Informes%20VIP/unesco\\_etxea\\_-\\_manual\\_unesco\\_cast\\_-\\_education\\_for\\_sustainability\\_manual.pdf](http://www.urv.cat/media/upload/arxiu/catedra-desenvolupament-sostenible/Informes%20VIP/unesco_etxea_-_manual_unesco_cast_-_education_for_sustainability_manual.pdf)
- **UNESCO** (2009). *Manual para la Educación de la Sostenibilidad*.
- **Urán, O** (2013) *Urbe y Ciudad: la necesaria distinción. Notas para un análisis sociológico y político de la realidad urbana*. Enfoques Y Perspectivas Sociológicas. Nuevas Miradas Desde La Teoría Sociológica. Colombia p.145 - 188 [http://www.academia.edu/2147883/URBE\\_Y\\_CIUDAD\\_LA\\_NECESARIA\\_DISTIN-CI%-C3%93N](http://www.academia.edu/2147883/URBE_Y_CIUDAD_LA_NECESARIA_DISTIN-CI%-C3%93N)
- **USGS** (1996) *Graph of the locations of water on Earth*. <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>