



Ecosistema urbano y manejo de recursos

[Documento Temático N°16, Habitat III]

Palabras clave

Pérdida de agua, tarifa, emisario submarino, aguas servidas, nexo agua-energía.

Destacados

1. Chile se enfrenta a importantes desafíos en el ámbito del Ciclo Urbano del Agua (CUA), siendo los más relevantes el alto porcentaje de pérdida de agua en el sistema (24,9%) y la no consideración de las características de cada territorio y de la escasez hídrica en la tarifa del agua.
2. Se hace relevante para el país evaluar los efectos económicos, ambientales y sociales de modificar el actual sistema tarifario, así como implementar un marco regulatorio que controle la descarga de nutrientes presentes en las aguas servidas.
3. 73% del agua servida del norte del país es tratada a través de emisarios submarinos, los que al no remover la carga orgánica disuelta del agua, pueden afectar negativamente a los ecosistemas costeros.
4. La sustentabilidad del CUA implica la consideración explícita del nexo agua-energía, así como la incorporación de otra externalidad del tratamiento de agua: su huella de carbono.

Resumen

En el ámbito de la gestión sustentable del Ciclo Urbano del Agua (CUA), Chile ha realizado importantes esfuerzos, que se han focalizado en disminuir el consumo de agua residencial per cápita e incrementar la cobertura del tratamiento de aguas servidas. Sin embargo, la población urbana abastecida ha aumentado en todas las regiones del país, lo que ha implicado un considerable incremento del volumen total de agua potable suministrada. A su vez, esto se ha traducido en un aumento del volumen de agua servida que debe ser tratada adecuadamente para mantener la calidad de los ecosistemas acuáticos y marinos. Para ello, se requiere la implementación de tecnologías de tratamiento sustentables que permitan remover no solo materia orgánica, sino también nutrientes, minimizando el consumo de energía.

Autores

María Molinos, Favio Escobar, Ignacio Vargas, Josefina Herrera

ECOSISTEMA URBANO Y MANEJO DE RECURSOS

Las ciudades se caracterizan por ser el centro de consumo y producción a nivel mundial. Por lo mismo, desde un punto de vista sustentable, su gestión, planificación e infraestructura deberían velar por cumplir con dos grandes desafíos: satisfacer las necesidades de los habitantes y proteger y cuidar la salud de los ecosistemas colindantes. Ahora bien, alcanzar ambas tareas no suele ser sencillo ya que mientras aumenta la población, también crecen los asentamientos informales, la demanda de servicios y los costos unitarios (ONU-HABITAT, 2015b). Como consecuencia, las ciudades ya no son capaces de satisfacer las necesidades de la población y comienzan a extender sus límites y a explotar ecosistemas naturales provocándoles un daño irreversible (ONU-HABITAT, 2015a). Por otro lado, los patrones y costumbres de vida de muchos de los asentamientos urbanos tampoco suelen ser sostenibles; ejemplo de esto es que 90% de las aguas servidas en países en vías de desarrollo se descargan directamente a cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento (ONU-HABITAT, 2015a), o que en el mundo solo 2% de las aguas servidas son recicladas (ONU-HABITAT, 2015b). Esta situación no es ajena para Chile, ya que 29% de las aguas servidas generadas por el país es tratada en base a emisarios submarinos (SSIS, 2016), sistema que no cuenta con un tratamiento secundario y puede alterar la composición química del sedimento marino (De la Ossa et al., 2016).

En la búsqueda por revertir la correlación negativa que existe entre la urbanización y su respectiva huella ecológica, se pretende que las ciudades sean las responsables de preservar el ecosistema y fomentar una interacción armoniosa entre el ambiente natural y construido. Para esto las urbes deberían aumentar su eficiencia en la utilización de los recursos a través del mejoramiento en su gestión, planificación e infraestructura así como del uso de innovación y tecnología. Esto permitiría no solo obtener una mayor productividad a bajo costo, sino que también disminuir los impactos y riesgos ambientales (ONU-HABITAT, 2015a). Ahora bien, es importante notar que aquellas ciudades que incluyen consideraciones ecológicas en su gestión y gobernanza trazan un camino tanto para soluciones a desafíos ecológicos, como también para desafíos sociales y económicos (ONU-HABITAT, 2015a). Por lo mismo, el interés por mejorar la eficiencia en los recursos debería estar presente en todos los actores sociales.

En HABITAT II (1996), Chile se comprometió a conseguir que los asentamientos urbanos fuesen sostenibles y que hicieran un uso eficiente de los recursos dentro de los límites de la capacidad de carga de los ecosistemas (MINVU, 2016). Para conseguir esto, el país ha avanzado en la implementación de políticas públicas y la creación del ministerio y tribunal ambiental (MINVU, 2016). Sin embargo, aún quedan varias tareas pendientes desde el punto de vista de la infraestructura y la tecnología. En ese sentido, es esencial estudiar la situación actual del país y determinar las posibles brechas políticas y/o académicas, para que con esto se puedan encontrar las soluciones que permitan reconciliar a Chile con su compromiso ecológico-social.

Consumo y pérdidas de agua en las ciudades chilenas

El consumo promedio de agua potable por cliente en Chile presentaba una tendencia a la baja durante la década 1998-2008, en la que este se redujo de 29,9 a 19,1 m³ por cliente por mes. Desde 2008 hasta la actualidad, el consumo promedio se ha mantenido prácticamente constante situándose en 18,6 m³/cliente al mes (2014). Considerando únicamente el consumo residencial, en 2014 la dotación promedio de agua potable en Chile fue de 138 litros/habitante al día. No obstante, se observan importantes desigualdades no solo entre regiones sino también dentro de la propia región Metropolitana de Santiago (RMS). Así, la dotación promedio de dos empresas sanitarias que abastecen la RMS varía entre los 73 litros por persona al día (Melipilla Norte) a los 491 litros/persona día (Aguas Manquehue). Dado que la población urbana abastecida aumenta en todas las regiones del país, el volumen total de agua potable suministrada ha incrementado considerablemente en los últimos 10 años. Así, en 2004 la producción de agua fue de 1.366.767 miles de m³ mientras que en 2014 ascendió a 1.670.533 miles de m³ lo que representa un incremento de 22%. Si bien el incremento en el volumen de agua producida es desigual a lo largo del territorio chileno, el norte del país, –con severos problemas de déficit hídrico– no ha escapado a esta tendencia.

En este contexto, es fundamental diferenciar los conceptos de agua producida y agua facturada. Debe destacarse que las fugas de agua constituyen ineficiencias en el abastecimiento de agua potable desde el punto de vista económico, social y ambiental. Las fugas de agua no solo implican la pérdida del recurso hídrico, sino también de la energía y materiales necesarios para su tratamiento y distribución. Además, la pérdida de agua en las redes supone la pérdida de ingresos económicos para las empresas sanitarias, lo que se puede traducir en un incremento de las tarifas pagadas por los ciudadanos. Por lo tanto, minimizar las pérdidas de agua potable es esencial para mejorar la sustentabilidad ambiental, financiera y social del ciclo urbano del agua. Contrariamente a lo deseado, el porcentaje de pérdidas de agua apenas ha disminuido en los últimos años. Así, en 2009 las empresas sanitarias presentaban un valor promedio de pérdidas de 26,1% mientras que en 2014 el valor promedio de pérdidas de agua potable en Chile fue de 24,9%. Este valor es superior a 20%, que es el límite máximo que establece la propia Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para la empresa modelo en base a la cual se determinan las tarifas de agua potable. Por ello, según la propia definición de la SISS, en promedio las empresas chilenas son ineficientes en relación a las pérdidas de agua. Además, existe una notable variabilidad en el porcentaje de pérdidas entre las empresas sanitarias del país dado que el valor mínimo es 3,99% mientras que el máximo es 33,60%. En este contexto, debe destacarse que no existe ningún tipo de correlación entre escasez de agua y porcentaje de pérdidas de agua potable. Así, en las regiones del norte del país, los porcentajes de pérdidas de agua potable de las empresas que operan son superiores a 25%. En base a la producción de agua potable de cada empresa sanitaria así como su porcentaje de pérdidas, se estima que en 2014 en Chile se perdieron aproximadamente 270.250 miles de m³ de agua.

Ante esta situación de creciente demanda sobre los recursos hídricos disponibles, es imprescindible mejorar la gestión de los mismos tanto desde el punto de vista de la oferta como de la demanda. En relación a la demanda de agua es necesario incorporar de forma más directa el valor de escasez en las tarifas con el objetivo de reducir el consumo de agua en zonas con déficit hídrico. Para ello, es necesario realizar estudios sobre la elasticidad demanda/precio, así como estudiar las variables más relevantes que determinan el consumo de agua en los hogares. Además, las tarifas de agua potable deben incorporar no solo el criterio de eficiencia económica, sino también el de sustentabilidad ambiental y social. Existe una amplia diversidad de modelos/estructuras tarifarias a nivel mundial alternativas a la actual tarifa casi uniforme aplicada en Chile. Es fundamental evaluar los efectos económicos, ambientales y sociales de modificar la actual tarifa por otras aplicadas en otros países.

En relación a la oferta, por una parte es necesario reducir las actuales ineficiencias traducidas de forma importante a través de las pérdidas de agua. Es importante estimar el Sustainable Economic Level of Leakage que, a diferencia del tradicional nivel económicamente óptimo de pérdidas, también incluye el coste ambiental y del recurso asociado a las pérdidas. También es necesario desarrollar modelos que permitan ajustar la gestión y mantenimiento de la infraestructura en función de sus características, así como desarrollar y evaluar materiales que permitan incrementar la vida útil de las redes de abastecimiento. Por otra parte, es fundamental promover el uso de fuentes alternativas de agua, como la reutilización de agua gris y/o servida y la desalinización, siempre desde un punto de vista sustentable a largo plazo. Así, es prioritario desarrollar tecnologías eficientes energéticamente, de modo que la producción de agua potable a través de estas fuentes alternativas no quede comprometida al incremento de la huella de carbono del ciclo urbano del agua. En este sentido, el uso de energías renovables juega un papel clave. El desarrollo de proyectos tanto de reutilización de agua como de desalinización debe ser evaluado desde una perspectiva interdisciplinaria considerando conjuntamente aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales y de salud pública.

Situación de las aguas residuales en Chile

Antes de la década de los noventa, Chile no contaba con un marco regulatorio que controlara el tratamiento de aguas servidas (Baraňao & Tapia, 2004) y la cobertura nacional del tratamiento era cer-

ECOSISTEMA URBANO Y MANEJO DE RECURSOS

cana a solo 10% (SISS, 2016). Es en la década del 2000 cuando, a raíz de la promulgación de la norma de Emisión de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001), conocida como el Decreto Supremo 90/00 (DS90), el proceso de construcción de plantas de tratamiento cobra importancia. Al año siguiente de la promulgación del DS90, la cobertura nacional del tratamiento de aguas residuales municipales se incrementó de 21% a 40% (SISS, 2016).

Actualmente, a lo largo del territorio nacional existen 278 sistemas de tratamiento que representan una cobertura nacional cercana a 99%. Las tecnologías de tratamiento más utilizadas son: lodos activados (55,4%), lagunas aireadas (19%) y los emisarios submarinos (11,6%). Los emisarios han sido incluidos en esta lista de sistemas de tratamiento, ya que la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) los considera como tal. Su utilización se concentra en las ciudades costeras del norte de Chile y representan 73% del caudal tratado en la zona norte del país (regiones XV, I, II, III, IV). Desafortunadamente, es frecuente que los emisarios en Chile no realicen tratamientos físicos, químicos ni biológicos, sino que aprovechen la dilución y dispersión marina para deshacerse de los residuos contaminantes, y así cumplir con la normativa ambiental.

A nivel nacional existen 32 sistemas de tratamiento en base a emisarios submarinos, los cuales tratan alrededor de 254 millones de m³ al año (SISS, 2016). Esta cifra equivale aproximadamente al caudal afluente tratado anualmente por la planta de lodos activados La Farfana, la más grande del país. La masiva utilización de emisarios submarinos probablemente se debe a sus bajos requerimientos energéticos y por tanto bajos costos de operación. Sin embargo, estos sistemas no se adaptan a las necesidades ecológicas de descarga; si bien generan un bajo consumo energético, los emisarios submarinos no deberían ser considerados como una tecnología depuradora convencional, ya que no realizan un tratamiento biológico que permita oxidar y así remover la materia orgánica presente en el agua. Esta tecnología, en términos generales, únicamente aprovecha el potencial de dilución y dispersión marina para degradar los contaminantes existentes en el agua residual. La ausencia de tratamiento biológico para remover la carga orgánica puede alterar la composición del sedimento marino, generando hipoxia en el fondo marino (De la Ossa et al., 2016). De esta manera, un primer desafío para el desarrollo sustentable de las ciudades costeras del norte del país, es la necesidad de levantar información con datos duros sobre los impactos ecológicos que estos sistemas están teniendo sobre las costas de Chile.

A pesar de la gran utilización de estos sistemas en las zonas costeras, especialmente en el norte, la investigación realizada por CEDEUS muestra que los valores del conjunto de índices de eficiencia reflejan que los emisarios submarinos no son una solución sustentable de tratamiento (Escobar, 2017). Si bien la razón kWh/m³, que relaciona energía vs. volumen de agua tratada, es siempre cercana a cero por la mínima utilización de energía (lo cual es tremendamente positivo), la razón kWh/Kg DBO₅, que relaciona energía utilizada vs. remoción de carga orgánica, tiende a infinito por la nula eliminación de residuos. Este último índice denota la baja efectividad de estos sistemas en la remoción de los contaminantes orgánicos que son descargados al mar. En el marco de esta realidad nacional, un segundo desafío que emerge desde el prisma de la sustentabilidad urbana es la necesidad de reemplazar estos sistemas para el tratamiento de aguas residuales provenientes de grandes centros urbanos. Entonces, el foco no debe estar únicamente en utilizar poca energía (i.e. bajos costos de operación), sino también en realizar un eficaz tratamiento biológico de las aguas residuales.

Los lodos activados son la alternativa directa de reemplazo para los emisarios submarinos. Como ejemplo, una planta de lodos activados altamente eficiente es la planta de tratamiento de Chillán (VIII región), que a pesar de tener un tamaño intermedio, tratando 17 millones de m³ al año, posee el conjunto de índices de eficiencia de menor valor dentro del territorio nacional (0,19 kWh/m³, 0,87 kWh/Kg DBO₅) (Escobar, 2017).

Además de los lodos activados, existen otras alternativas que pueden solucionar el problema de los emisarios submarinos. Las lagunas aireadas son una tecnología altamente utilizada en Chile, lo que se debe a su bajo consumo energético respecto a los lodos activados, y a su fácil operación (SINIA, 2016). Sin embargo, de acuerdo a la información disponible, en el territorio nacional solo se observan dos plantas de lagunas aireadas para caudales equivalentes a los utilizados para emisarios submarinos. Esto último se debe a que esta tecnología requiere de grandes extensiones de terreno para su implementación, es susceptible a generar olores, y posee límites sobre la cantidad de caudal a tratar (Baraño & Tapia, 2004). De esta manera, las lagunas aireadas son implementadas con frecuencia en pequeñas localidades de hasta 3.000 habitantes. Por ejemplo, la planta de lagunas aireadas de ValLENAR posee índices de eficiencia similares a la planta de lodos activados de Chillán, sin embargo no es capaz de tratar los grandes caudales de los emisarios submarinos (Escobar, 2017). A pesar de lo anterior, una solución en la gestión de las aguas residuales es construir múltiples plantas de tratamiento en las zonas costeras para dividir el caudal afluente, y de esta forma, convertir a plantas como la de ValLENAR en alternativas viables.

La realidad del uso de emisarios submarinos constituye una problemática actual que requiere acciones concretas en el corto plazo. Pero, definitivamente, no es el único desafío que tenemos en Chile. El tratamiento de las aguas residuales presenta al menos otros dos en el mediano plazo: (1) el manejo de lodos y su disposición final; y (2) el tratamiento de nutrientes (i.e. nitrógeno y fósforo). Ambos desafíos requerirán cambios normativos, por ejemplo en el mencionado DS90 y tecnológicos de adaptación de los sistemas actuales (o desarrollo de nuevas tecnologías), para, de esta manera, alcanzar nuevos estándares a la altura de los países desarrollados.

En conclusión, para que el desarrollo futuro de las ciudades costeras sea sustentable, se requieren sistemas de tratamiento que sean eficientes energéticamente, y que, al mismo tiempo cumplan con el objetivo de minimizar el impacto de la descarga de los residuos en las costas. Posibles soluciones pasan por reemplazar los emisarios submarinos por sistemas convencionales de lodos activados y lagunas aireadas; o bien, implementar sistemas biológicos en base a biopelículas o lombrices. A pesar de las limitaciones de espacio, materiales o costos iniciales de construcción, estas emergentes tecnologías prometen índices de eficiencia energética y remoción de cargas orgánicas, nutrientes y menor producción de lodos, acordes con las demandas de la sociedad actual. Otras alternativas incluyen la integración de energías renovables no convencionales (eólica, marina, solar) en zonas costeras y el uso de subproductos del tratamiento para la generación de valor a partir de los residuos generados.

Recomendaciones de tecnologías sustentables en plantas de tratamiento

Los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas residuales domiciliarias (i.e. lodos activados) son altamente demandantes en energía. Solo como ejemplo, un estudio realizado en los Estados Unidos determinó que los requerimientos energéticos de los actuales sistemas de tratamiento ascienden a aproximadamente 15 GW, lo que corresponde a 3% del total de energía producida en el país (McCarty, Bae & Kim, 2011). Al mismo tiempo, se estima que el agua residual doméstica, industrial y animal en conjunto contienen alrededor de $1,5 \cdot 10^{11}$ kilowatt-hora (kWh) de energía potencial, lo que representa unos 17 GW de potencia (Logan, 2004). Este dato es de gran importancia en la búsqueda de una solución tecnológica sustentable para resolver el dilema del nexo agua-energía. El desarrollo de la ciencia y la tecnología en las últimas décadas nos permite tener hoy alternativas para utilizar la energía contenida en los residuos para su propio tratamiento.

En los países desarrollados la digestión anaerobia es el proceso más utilizado para la recuperación de energía a partir de residuos. Como se mencionó en la sección anterior, cerca de 55% de los sistemas de tratamiento a nivel nacional son plantas de lodos activados que generan grandes volúmenes de lodos que, comúnmente, son tratados por medio de digestión anaerobia. Desafortunadamente, la

ECOSISTEMA URBANO Y MANEJO DE RECURSOS

utilización del metano generado (gas natural) todavía no es aprovechada en su máximo potencial, existiendo aún desafíos tecnológicos, de operación y de integración con la matriz energética.

Lo complejo de su operación y la sensibilidad de los microorganismos metanogénicos (que producen metano a partir de los residuos) a sustancias tóxicas, cambios de temperatura y la variabilidad en la composición de los residuos, aún limitan la operación de la digestión anaerobia a niveles de baja escala. Una nueva tecnología que ha emergido en los últimos años son las celdas de combustible microbiano o, en inglés, *microbial fuel cells* (MFC): sistemas bioelectroquímicos que permiten recuperar directamente energía, a través de la transformación de la energía química presente en las aguas residuales en electricidad. Este proceso se logra con la actividad de microorganismos electroquímicamente activos desarrollados como un sistema de biopelículas microbianas. En los últimos 5 años, grupos de investigación en Estados Unidos y Australia han desarrollado las primeras experiencias piloto de sistemas MFC para el tratamiento de aguas residuales (Logan, 2010). El desafío para Chile es no quedar atrás tecnológicamente, evaluando tanto la aplicabilidad de estas nuevas tecnologías, como el potencial de innovación de sistemas propios que consideren las características y particularidades de la realidad chilena.

Nexo agua-energía en el ciclo urbano de agua

Agua y energía son dos recursos intrínsecamente unidos a través de una compleja y codependiente relación conocida como nexo agua-energía. Todas las actividades del ciclo urbano del agua (CUA) requieren una cantidad de energía no despreciable. Así, en EE.UU. se estima que el consumo de energía asociado al suministro de agua y recogida y tratamiento de agua servida supone entre 30% y 40% del coste energético total municipal (Copeland, 2013). La huella de carbono en el CUA presenta una elevada variabilidad en función de la fuente de agua potable, las tecnologías de tratamiento tanto del agua potable como servida, la topografía de la ciudad, así como la propia eficiencia energética con la que operan las empresas sanitarias.

A pesar de la importancia de reducir el consumo energético en el CUA, en Chile no se ha realizado ningún estudio sistemático que evalúe la huella de carbono asociada al suministro de agua potable y tratamiento de agua servida. No obstante, dicha información está disponible para algunas ciudades chilenas. CEDEUS (2015) analizó el consumo energético en forma de energía eléctrica de Copiapó, La Serena, Santiago, Temuco y Valdivia diferenciando tres actividades: elevación de agua, tratamiento de agua potable y tratamiento de agua servida. La Tabla 1 muestra el consumo energético medido en kWh/m³ para cada ciudad evaluada.

	Elevación	Tratamiento de agua potable	Tratamiento de aguas servidas	Total
Copiapó	1,215	0,760	0,475	2,450
La Serena	0,232	0,002	0,012	0,246
Santiago	0,082	0,007	0,269	0,359
Temuco	0,325	-	0,086	0,411
Valdivia	-	0,015	0,029	0,045

Tabla 1: Comparación del consumo energético en ciudades chilenas, en kWh/m³. Fuente: CEDEUS (2015)

La Tabla 1 muestra que la ciudad de Copiapó presenta un consumo energético muy superior al resto de las ciudades evaluadas para los tres procesos considerados. El mayor consumo de energía en la elevación de agua está asociado a la profundidad de sus pozos, los cuales llegan en promedio a 155 metros (Aguas Chañar, 2012). En cuanto al tratamiento de agua potable, Copiapó también es la ciudad con mayor consumo energético debido a la cantidad de tratamientos intensivos requeridos por

la deficiente calidad del agua cruda que tienen las fuentes de dicha ciudad. En particular, la potabilización del agua en Copiapó se realiza a través de un proceso de ósmosis inversa. Según Corominas et al. (2010) el consumo energético en este tipo de plantas varía entre 1,40 y 1,80 kWh/m³. Por lo tanto, la planta de ósmosis inversa de Copiapó presenta un excelente valor de eficiencia energética. En la Tabla 1, también destaca que el consumo energético en potabilización en Temuco es despreciable. Esto es debido a que esta ciudad no cuenta con una planta de tratamiento de agua como tal, sino que únicamente tiene procesos de desinfección y cloración para los que no se reporta consumo energético. Finalmente, en relación al tratamiento de aguas servidas, Copiapó también es la ciudad con mayor consumo energético por m³ de agua servida tratada. Si bien la tecnología de tratamiento es la misma que la utilizada en las principales plantas de Santiago (lodos activados), su consumo energético es 1,8 veces superior. Para solventar este problema de ineficiencia energética y poder desarrollar e implementar medidas conducentes al ahorro energético, es fundamental realizar un análisis detallado que determine las causas del elevado consumo energético de la planta de tratamiento de agua servida de Copiapó. Por el contrario, el consumo energético asociado al tratamiento de agua servida en las ciudades de La Serena, Valdivia y Temuco es muy bajo. Esto no es debido a que las plantas de tratamiento de agua servida de estas ciudades presenten una elevada eficiencia energética sino a su limitado nivel de tratamiento. Así, La Serena cuenta únicamente con un sistema de pretratamiento primario para emisario submarino, Temuco trata sus aguas servidas con tratamiento primario químicamente asistido y Valdivia con un tratamiento primario con desinfección. Por lo tanto, ninguna de estas tres ciudades realiza un tratamiento secundario del agua servida previo a su vertido al medio ambiente.

Uno de los principales retos a los que se enfrentan las empresas sanitarias para mejorar su sustentabilidad es incrementar la eficiencia energética en el CUA. En el caso de Chile, para ello, el primer paso es determinar el escenario base o situación actual, esto es, tener un detallado conocimiento del presente consumo energético de cada una de las actividades que integran el CUA para todas las ciudades chilenas. Solo así podrán fijarse metas de reducción de consumo de energía adecuadas y adaptadas para cada ciudad en base a sus características ambientales y territoriales. El reto de la eficiencia energética en el CUA no solo requiere introducir tecnologías y sistemas de bajo consumo energético, sino también definir e implementar las mejores prácticas operacionales en este campo.

ECOSISTEMA URBANO Y MANEJO DE RECURSOS

Referencias

- Aguas Chañar (2012). *Plan de desarrollo de Aguas Chañar*. Disponible en: www.aguaschañar.cl
- Baraňao, P. & Tapia, L. (2004). *Tratamiento de las aguas servidas: situación en Chile*. Santiago: Asociación Chilena de Seguridad.
- CEDEUS. (2015). *Manejo sustentable del agua en ciudades CEDEUS*. Santiago.
- Copeland, C. (2013). *Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use*. CRS Report for Congress, United States of America.
- Corominas, J. (2010). Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del Agua*, 219-233.
- De la Ossa, J.A., Del Pilar, Y., Giménez, F. & Sánchez, J.L. (2016). Monitoring the Effects of Wastewater Treatment Strategies. *Environmental Monitoring and Assessment*.
- Escobar, F. (2017). Eficiencia energética en plantas de tratamiento de aguas servidas de Chile (Memoria de ingeniero). Escuela de Ingeniería, *Pontificia Universidad Católica de Chile*, Santiago.
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2012). *Resultados preliminares Censo 2012*. Recuperado de: <http://www.inec.cl>.
- Logan, B. E. (2010). Scaling Up Microbial Fuel Cells and Other Bioelectrochemical Systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(6), 1665-1671. DOI: 10.1007/s00253-009-2378-9
- Logan, B. E. (2004). Peer Reviewed: Extracting Hydrogen and Electricity from Renewable Resources. *Environmental Science & Technology*, 38(9), 160A-167A. DOI: 10.1021/es040468s
- McCarty, P. L., Bae, J. & Kim, J. (2011). Domestic Wastewater Treatment as a Net Energy Producer—Can this be Achieved? *Environmental Science & Technology*, 45(17), 7100-7106. DOI: 10.1021/es2014264
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2001). Decreto Supremo N° 90 de 2000, Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Santiago.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2016). *Chile Informe Nacional HABITAT III*. Santiago.
- ONU-HABITAT. (2015a). *Habitat III Issue paper: 16 - Urban ecosystems and resource management*. New York.
- ONU-HABITAT (2015b). *Habitat III Issue paper: 18 - Urban infrastructure and basic services, including energy*. New York.
- Sistema Nacional de Información Ambiental. (2016). Tecnologías de tratamiento de aguas servidas. Recuperado de: <http://www.sinia.cl>.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2016). Tratamiento de aguas servidas. Disponible en: <http://www.siss.gob.cl>