



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

MASTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MÁSTER

EVALUACIÓN DE LA INSTITUCIONALIDAD ESPAÑOLA PARA LA
GOBERNANZA Y GESTIÓN EN EL SANEAMIENTO DE LAS AGUAS
SERVIDAS EN ZONAS RURALES EN CHILE

Autor: D. Iván Fernández Morís
Tutor: D. Gladys Vidal
Tutor: D. Pedro García Encina

Valladolid, Septiembre, 2022

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Gladys Vidal, por su orientación tanto personal como académica y que ha hecho que esta colaboración a través del CRHIAM haya sido posible.

A María Fernández-Polanco, gracias a su dirección, guía, entusiasmo y apoyo para que esta experiencia se haya convertido en realidad.

Al Centro Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería, CRHIAM, junto al Proyecto ANID/FONDAP/15130015 y al Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA). Referente para mí y para todo el ámbito de tratamiento de aguas residuales en Chile.

A la Universidad de Concepción (Chile) y a la Universidad de Valladolid (España), y a todos aquellos colaboradores, que han permitido la realización de este proyecto en este país increíble.

A mi familia, apoyo incondicional en cada decisión que he tomado.

RESUMEN

En este trabajo fin de máster se estudiarán los problemas de la gestión de las aguas residuales en las zonas rurales chilenas, poniendo como marco comparativo la tecnología e institucionalidad española.

Las diferencias sociales y económicas entre las zonas rurales y urbanas son notables. Mientras en las zonas urbanas cuentas con casi un 100% de la depuración de las aguas en las zonas rurales todavía no se ha completado las redes de saneamiento y en muchos casos no hay sistemas de abastecimiento de agua potable.

Se ha analizado las tecnologías y cómo el marco normativo español ha evolucionado para un correcta gestión y administración de las plantas depuradoras en zonas rurales.

En este proyecto se ha identificado los principales problemas que encontramos en la gestión de los Sistemas Sanitarios Rurales. Tanto la gestión del agua potable como la gestión de las aguas residuales son llevadas a cabo por comités que en muchos casos no tienen formación, apoyo económico o recursos para llevar a cabo una buena tutela de las plantas. Un insuficiente financiamiento, gestión y mantenimiento inadecuado de las plantas y sistemas de alcantarillado, hacen que en muchos casos estas plantas generen vertidos contaminantes para el medioambiente.

Se comprueba que la gestión de las aguas residuales se tienen que tomar como una medida más para abordar el problema de la sequía en Chile. Se ha identificado que el problema no se puede tratar individualmente, sino que tendremos que encontrar una mejora en la gestión de los recursos hídricos del país. La universalización de los sistemas sanitarios pueden llevarse a cabo a través de subsidios, reduciendo la brecha social y económica de las zonas rurales.

Sistemas de recogidas de lluvias, reutilización de las aguas tratadas y las aguas grises o la digitalización de las plantas depuradoras pueden ser soluciones a pequeña escala en la mejora de la gestión del saneamiento rural en Chile.

ABSTRACT

In this master's thesis, the problems of wastewater management in Chilean rural areas will be studied, using Spanish technology and institutions as a comparative framework.

The social and economic differences between rural and urban areas are notable. While in urban areas you have almost 100% of water purification. In rural areas, sanitation networks have not yet been completed and in many cases there are no drinking water supply systems.

Technologies have been analyzed and how the Spanish regulatory framework has evolved for proper management and administration of sewage treatment plants in rural areas.

In this project, the main problems that we find in the management of Rural Sanitary Systems have been identified. Both the management of drinking water and the management of wastewater are carried out by committees that in many cases do not have the training, financial support or resources to carry out a good stewardship of the plants. Insufficient financing, inadequate management and maintenance of sewage plants and systems mean that in many cases these plants generate polluting discharges for the environment.

It is verified that wastewater management must be taken as one more measure to address the problem of drought in Chile. It has been identified that the problem cannot be treated individually, but we will have to find an improvement in the management of the country's water resources. The universalization of health systems can be carried out through subsidies, reducing the social and economic gap in rural areas.

Rainwater harvesting systems, reuse of treated water and gray water, or the digitization of sewage treatment plants can be small-scale solutions for improving rural sanitation management in Chile.

ÍNDICE

JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
1. AGUAS RESIDUALES EN ZONAS RURALES EN ESPAÑA	3
1.1. Demografía	5
1.2. Marco normativo en España	8
1.2.1. Normativa española	12
1.2.2. Planes Nacionales	15
1.2.2.1. Incumplimiento de la normativa y creación del nuevo Plan Nacional	15
1.2.2.2. Plan DSEAR	17
1.3. Gestión público-privada de las aguas residuales en España	18
1.4. Tecnologías utilizadas en la depuración de aguas residuales en España	19
1.4.1. Problemática en la depuración de aguas residuales en las zonas rurales españolas	19
1.4.2. Criterios para la elección de tecnologías de depuración en zonas rurales	20
1.4.3. Tecnologías usadas para la depuración de aguas en zonas rurales	21
1.4.4. Ventajas e inconvenientes de las tecnologías	22
1.4.5. Nivel depurativo alcanzado en función de los sistemas utilizados	28
1.4.6. Rango de aplicación recomendable de los sistemas de depuración	29
1.4.7. Tecnologías aplicadas en pequeñas poblaciones por orden de abundancia y comunidad autónoma	30
2. AGUAS RESIDUALES EN ZONAS RURALES EN CHILE	32
2.1 Demografía	32
2.2. Contexto de sequía en Chile	34
2.2.1. Zonas rurales	35
2.2.2. Camiones Aljibe	36
2.2.3. Plan de emergencia	37
2.2.4. El programa APR	37
2.2.4.1. Organismos involucrados en el programa APR	38
2.3.4.2. Cobertura de agua potable en la población rural a través del programa APR	40
2.3. Marco normativo en Chile	42
2.3.1. Ley N°20.998	42
2.3.2. Normativa de vertido	42
2.3.3. Ley N°21.075	43
2.4. Principales problemas en la institucionalidad chilena sobre los recursos hídricos	44
2.5. Comités de los Sistemas Sanitarios Rurales	50
2.5.1. Tecnologías usadas en los SSR de Chile	53
2.5.1.1. Lombrifiltros	54
2.5.2 Problemas surgidos en el tratamiento de aguas residuales y la gestión de los SSR	57

3. ESTUDIO COMPARATIVO	60
3.1. Tabla comparativa	60
3.2. Posibles mejoras de la gobernanza de las aguas servidas en Chile	61
3.3. Implantación de mejoras a través del marco europeo	66
4. CONCLUSIONES	67
5. BIBLIOGRAFÍA	68

JUSTIFICACIÓN

El agua potable y el tratamiento de las aguas servidas y su regularización es un problema grave para un país como Chile, que está sufriendo las presiones del cambio climático y la escasez hídrica.

El agua potable y saneamiento en todos los países latinoamericano es una tarea aún pendiente. Sin embargo Chile, optó porque el estado entregará en concesión a empresas sanitarias el agua potable y el tratamiento de las aguas servidas, fijando un sistema tarifario y generando una estructura de fiscalización a través de una Superintendencia de Servicios Sanitarios. Esta concesión solo se ha llevado a cabo en sistemas concentrados como las grandes ciudades, dejando las zonas rurales en un limbo administrativo y legal. Debido a esto, Chile ha podido avanzar fuertemente en organizar exitosamente la entrega de agua a todas las zonas urbanas concentradas, así como el tratamiento de las aguas servidas. Al año 2016, en Chile el sector sanitario urbano estaba compuesto de 60 empresas sanitarias dedicadas al tratamiento de las aguas servidas (AS), con 293 plantas instaladas. A través de esto, existía un 99,93 % de cobertura urbana de tratamiento de AS, respecto al 100 % de la población que contaba con alcantarillado (SISS, 2016). Dentro de las PTAS, existen diferentes tratamientos, ya sea, primario, secundario o terciario. Según Rojas (2002) el tratamiento primario tiene como finalidad remover, con la utilización de un medio físico o mecánico, desde un 40 a un 70 % (utilizando tratamiento de sedimentación simple) del material sedimentable o flotante, removiendo con esto una parte importante de la materia orgánica, que puede representar entre un 50 % a un 65 % de sólidos suspendidos, y un 25 % a un 40 % de demanda biológica de oxígeno (DBO5).

Por su parte, en las localidades rurales semi-concentradas la realidad es más crítica, existiendo comunidades que se encuentran desprovistas de servicios básicos de agua potable y saneamiento. Si a esto se agrega la inexistencia de una entidad pública responsable a cargo del tema de las aguas servidas rurales, se tiene como consecuencias problemas en la administración y asistencia técnica a estos servicios (Frêne et al., 2014).

Por todo lo antes descrito, la generación de una gobernanza sólida y gestión adecuada para el agua potable y saneamiento rural es fundamental para conservar la salud y mantener la calidad de vida en las comunidades rurales.

OBJETIVO GENERAL

Describir los elementos de gobernanza y de buena gestión para el saneamiento de las aguas en zonas rurales en el marco de un estudio comparativo del modelo desarrollado en España y de la problemática en Chile.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la institucionalidad española para la gobernanza y gestión para el saneamiento de las aguas servidas en zonas rurales.
- Evaluar los problemas de la institucionalidad chilena para generar las bases de la gobernanza y gestión para el saneamiento de las aguas servidas en zonas rurales.
- Describir las diferencias y elementos claves para constituir una gobernanza y gestión sólida para proveer saneamiento a la población rural de Chile, basado en el conocimiento europeo.

1. Aguas residuales en zonas rurales en España

La depuración de aguas residuales es un proceso importante dentro de las sociedades, ya que el vertido de aguas residuales al medio puede llegar a tener grandes consecuencias medioambientales en los receptores de las mismas. Por ello, independientemente del origen y características de las aguas residuales urbanas, éstas deben ser tratadas adecuadamente, antes de su vertido o reutilización, con el fin de (Martín *et al.*, 2006):

- Proteger el estado ecológico de los medios receptores (embalses, ríos, barrancos, acuíferos, mar, etc.) del grueso de la contaminación procedente de las aguas residuales urbanas.
- Evitar riesgos para la salud pública de la población.
- Producir efluentes con características físicas, químicas y microbiológicas aptas para su reutilización.

El tratamiento de aguas residuales en zonas rurales o en pequeñas poblaciones tienen varias singularidades. Estas singularidades vienen marcadas por un distinto desarrollo social y económico en comparación con las aglomeraciones urbanas. Estas singularidades son las siguientes (Salas *et al.*, 2008):

- Calidad

La calidad de las aguas residuales está estrechamente relacionada con las dotaciones de abastecimiento. Las zonas rurales o pequeñas poblaciones suelen poseer menos dotaciones, por lo que se genera una generación de menos caudal pero con concentraciones de contaminantes superiores debido a la poca dilución (Salas *et al.*, 2008).

En Tabla 1 podemos observar los parámetros que suelen caracterizar las aguas residuales generadas en pequeñas poblaciones:

Tabla 1. Parámetros de caracterización de las aguas rurales en pequeñas poblaciones.

Parámetro	Unidades	Rango habitual
Sólidos en Suspensión	(mg/l)	300 – 500
DBO5	(mg/l)	400 – 600
DQO	(mg/l)	800 – 1.200
Nitrógeno	(mg N/l)	50 – 100
Fósforo	(mg P/l)	10 – 20
Grasas	(mg/l)	50 – 100
Coliformes Totales	(UFC/100 ml)	107

Fuente: Pidre *et al.* (2007)

Estos datos son aproximados, ya que en muchos casos se generan aguas residuales muy diluidas debido al drenaje directos de infiltraciones o a las conexiones de agua natural a las redes. Es muy importante en las zonas rurales un muestreo de las aguas para poder llevar a cabo un tratamiento concreto (Salas *et al.*, 2008).

- Caudal

La mayor singularidad respecto al caudal son las fluctuaciones que se producen. Cuanto más pequeña sea una población más fluctuaciones encontraremos en el caudal. También hay que tener en cuenta que la fluctuación del caudal también afecta a las concentraciones de contaminantes que llegan a las plantas depuradoras (Salas *et al.*, 2008).

- Costes de inversión y explotación

Un hecho clave en la gestión son los factores económicos, cuanto menos sea la población mayor será el coste por habitante. En muchos casos los costes generados por la contracción y gestión de las plantas no son económicamente viables por los municipios o ayuntamientos. Para evitar este problema habrá que recurrir a tratamientos más económicos (Salas *et al.*, 2008).

- Impacto ambiental

Aunque en las pequeñas poblaciones rurales se generen menos caudales, estos pueden generar un impacto muy significativo en el medio dependiendo de la sensibilidad del mismo. En zonas de alto valor ecológico o en masas de agua con caudales circundantes mínimos, las aguas deber ser sometidas a un tratamiento intenso haciendo que no causen ningún efecto al medio vertido (Salas *et al.*, 2008).

- Estacionalidad poblacional

El aumento de la población en ciertas épocas del año puede cambiar considerablemente las características del vertidos y su consiguiente impacto ambiental (Salas *et al.*, 2008).

- Dispersión de la población.

Para poder solventar el problema de las dispersión poblacional hay que fijar e identificar qué núcleos se van a tratar de forma conjunta o en cuales se llevara un tratamiento descentralizado (Salas *et al.*, 2008).

1.1. Demografía

En España hay 8.131 municipios, de los cuales 5.866 tienen menos de 2.000 habitantes. En las siguientes gráficas podemos revisar la distribución del número de municipios por provincia y comunidad autónoma, comparando los municipios de menos y más de 2.000 habitantes.

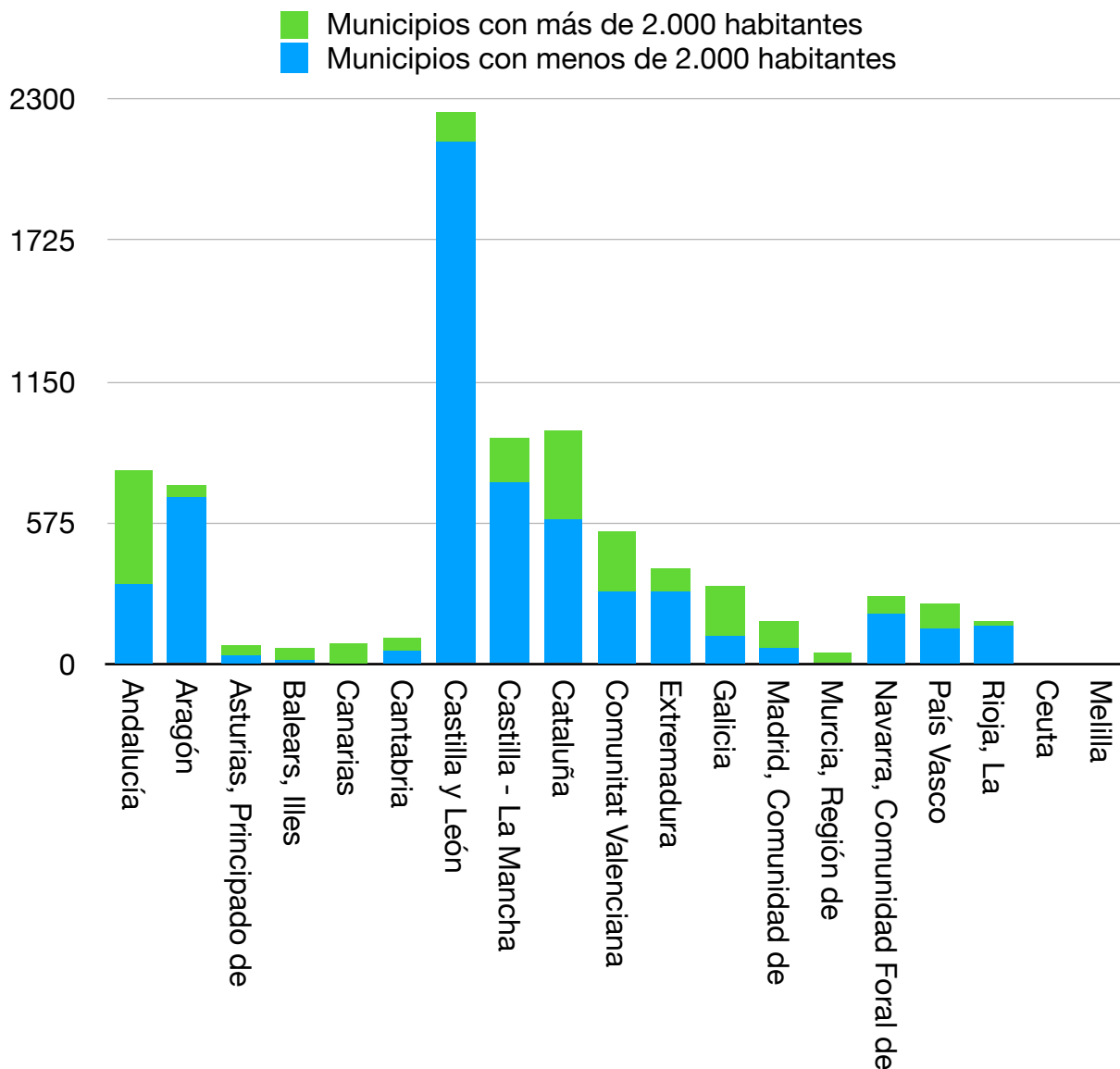


Figura 1 - Clasificación de las comunidades autónomas por municipios con más y menos de 2.000 habitantes. Fuente: Elaboración propia a través de datos INE (2021).

Cómo podemos comprobar la mayoría de las comunidades autónomas albergan más municipios con menos de 2.000 habitantes por municipio. Esto nos refleja la poca dispersión poblacional, es decir, la mayoría de la población española se concentra en los mismos municipios. La figura 1 y 2 nos hace ver que en la mayoría de los municipios españoles hay un problema de vaciado demográfico, comprobando la misma situación si lo llevamos a un ámbito provincial.

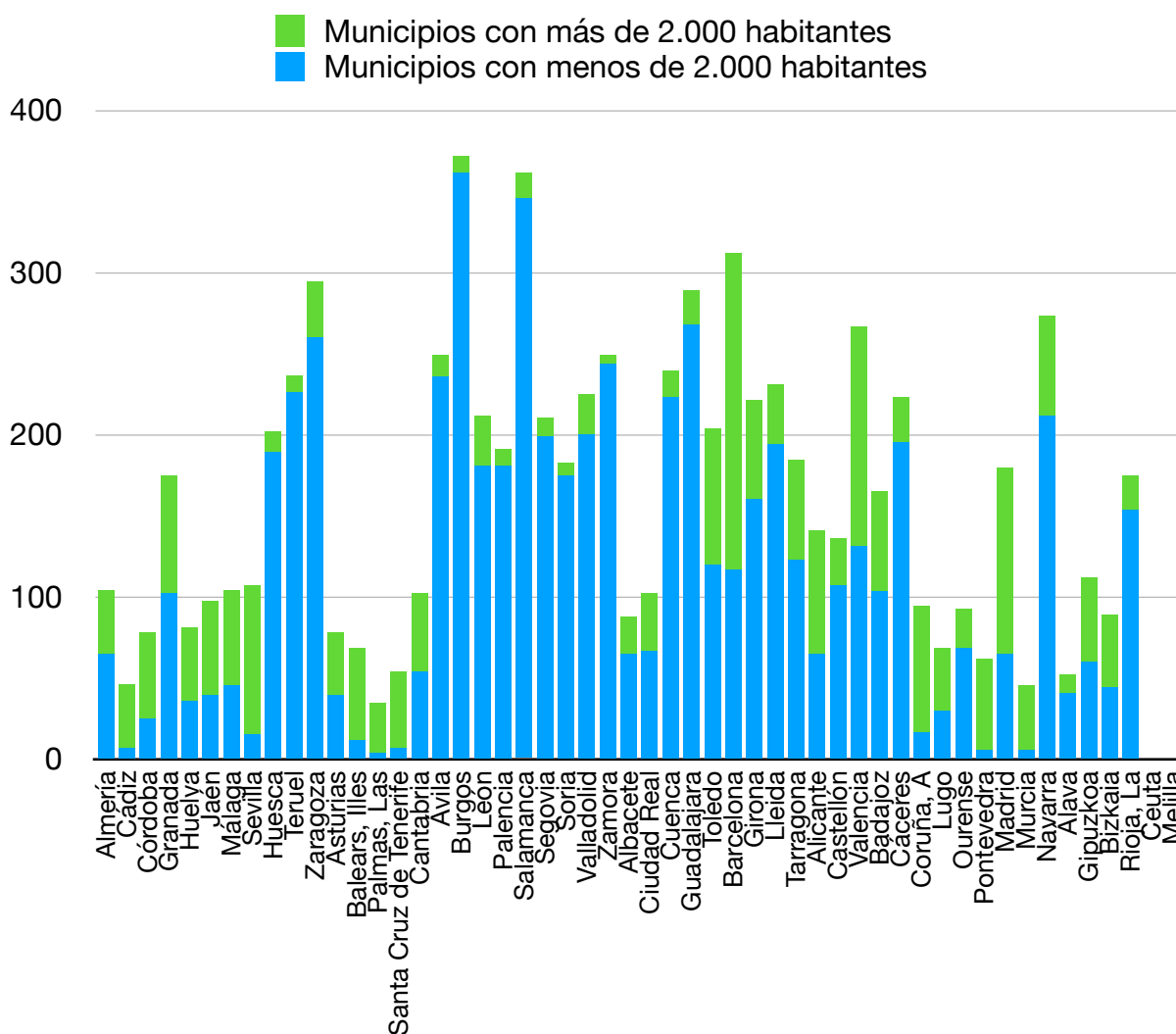


Figura 2 - Clasificación de las provincias por municipios con más y menos de 2.000 habitantes. Fuente: Elaboración propia a través de datos INE (2021).

Pero no solo podemos tener en cuenta la cantidad de municipios, ya que uno de los puntos más importantes a tener en cuenta es la distribución de la población. Según el artículo del periódico El País (Marcos, 2018), más de 42 millones de habitantes se concentran en 1.500 municipios en una extensión que equivale al 30% superficie del país. Otros 4,6 millones se reparten por el 70% del territorio. Esto hace que España sea uno de los país con un porcentaje de territorio deshabitado más alto, haciendo que el 90% de la población se concentre en el 30% del territorio aproximadamente.

Cómo podemos observar en la figura 3 el 90% de la población española, la mayoría de la población de España se concentran en 1.500 municipios. Esto hace que en más de 6.600 municipios la población sea tan pequeña que la gestión o la inversión en esos municipios sea muy tediosa. Otro factor a tener en cuenta es el envejecimiento de la población en dichos municipios, ya que el 60% de los municipios (4.800 de más de 8.100) tienen una proporción de dos mayores de 65 años por un menor de 15 (Marcos, 2018).

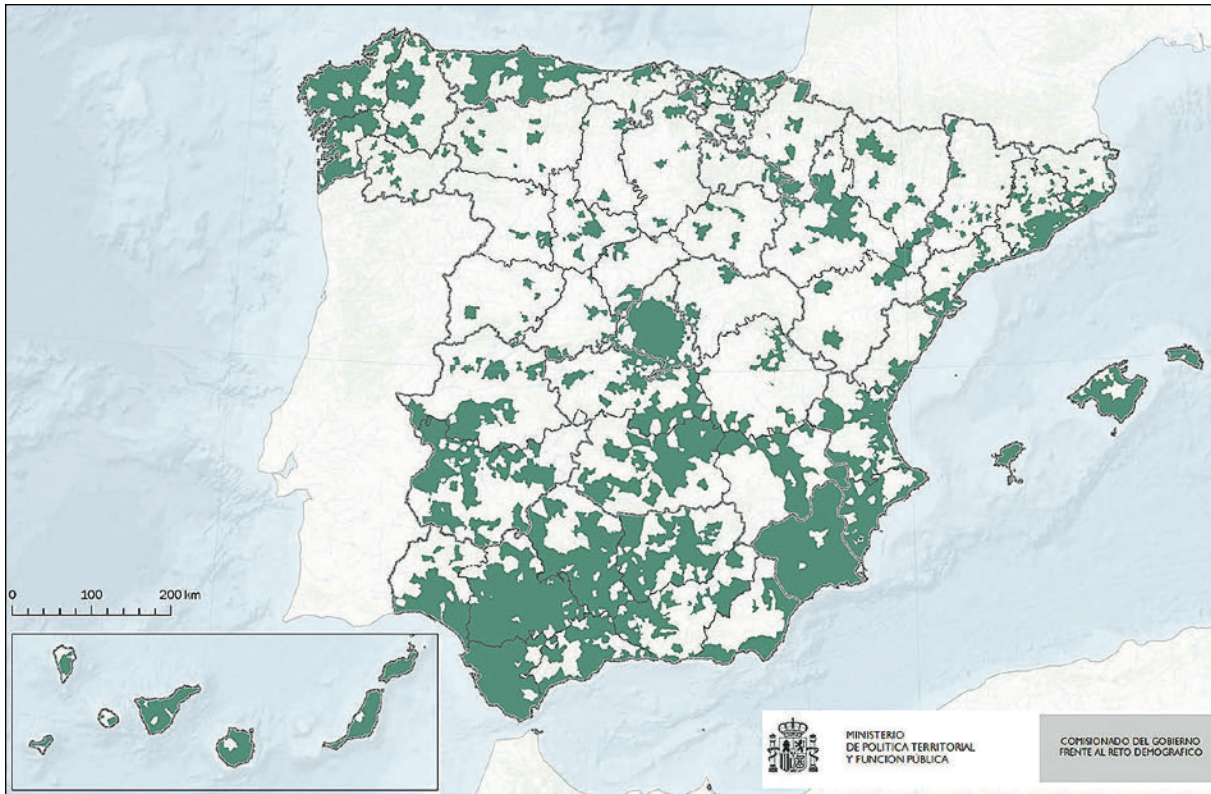


Figura 3. Municipios que concentran el 90% de la población española. Fuente: Gantes (2018).

Estos factores hacen que la implantación de las plantas de depuración se concentren en las localidades más pobladas, dejando las zonas menos habitadas sin posibilidades de instalación de depuradoras en los municipios más pequeños. Al no haber infraestructura eficiente para la depuración de las aguas, muchos municipios no tienen más opción que verter esas aguas residuales al medio directamente. Este efecto hace que se haya producido una gran desertización en el territorio español.

1.2. Marco normativo en España

La legislación y normativa que regulan la depuración y vertidos de las aguas residuales urbanas es muy extensa. En España, según el marco europeo, los municipios y poblaciones con más de 2.000 habitantes están obligados por ley a tratar sus aguas residuales a través de una EDAR.

Esta normativa es la Directiva 91/271/CEE, donde se establecen las medidas necesarias que los Estados miembros han de adoptar para garantizar que las aguas residuales urbanas reciben un tratamiento adecuado antes de su vertido. Esta normativa define unos requisitos para la recogida, tratamiento y vertidos de las aguas residuales urbanas. En la Tabla 2 podemos ver cuales son los requerimientos mínimos aprobados en la normativa (Salas et al, 2008):

Tabla 2. Requerimientos mínimos de tratamiento aprobados en la normativa 91/271/CEE.

VERTIDO EN AGUAS COSTERAS			
Tamaño aglomeración	Zona menos sensible	Zona normal	Zona sensible
0 – 10.000 h.e.	Tratamiento adecuado	Tratamiento adecuado	Tratamiento adecuado
10.000-150.000 h.e.	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
>150.000 h.e.	Tratamiento primario o secundario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario

VERTIDO EN AGUAS DULCES O ESTUARIOS				
Tamaño aglomeración	Zona menos sensible	Zona normal	Zona normal alta montaña	Zona sensible
0 – 2.000 h.e.	Tratamiento adecuado	Tratamiento adecuado	Tratamiento adecuado	Tratamiento adecuado
2.000 -10.000 h.e.	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento secundario	Tratamiento secundario
>10.000 h.e.	Tratamiento secundario	Tratamiento secundario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario

Tratamiento adecuado: Tratamiento tal que se cumplan los objetivos de calidad de las aguas receptoras.

Tratamiento primario: DBO5 > 20%; SS > 50%.

Tratamiento secundario: DBO5 > 70-90% o < 25 mg/l ; DQO > 75% o < 125 mg/l; SS > 90% o < 35 mg/l

Tratamiento terciario: Nt >70-80% o <15 mg/l, Pt > 80% o < 2 mg/l para 1000070-80% o <10 mg/l, Pt > 80% o < 1 mg/l para Pob > 100000 h.e.

Fuente: Directiva 91/271/CEE

Esta normativa implica que las aguas residuales en poblaciones menores a 2.000 h.e. reciban un tratamiento adecuado siendo este “cualquier proceso y/o sistema de eliminación en virtud del cual, después del vertido de dichas aguas, las aguas receptoras cumplan con los objetivos de calidad pertinentes y las disposiciones

pertinentes de la presente y de las restantes directivas comunitarias”. Esto implica que no se hayan especificado los límites de calidad del vertido ni qué tipo de tecnología sea la más adecuada. En este caso solamente se exige que las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad por usos y normas de calidad ambiental previstas para el medio receptor (Salas et al, 2008).

Lo que sí que ha fijado la directiva 91/271/CEE es el calendario de actuaciones para equipar a estas poblaciones y así poder conseguir el cumplimiento de la normativa europea. El calendario fue el siguiente:

Tabla 3. Calendario de implementación de la de directiva 91/271/CEE.

CALENDARIO DE LA IMPLANTACIÓN DE LA DIRECTIVA			
1991	Se aprueba la directiva		
1993	Transposición de la Directiva		
	Determinación de las zonas sensibles		
	Aprobación del programa de aplicación		
	Sometimientto a normativa previa y autorización del vertido a los sistemas colectores o a las EDAR de las aguas residuales industriales		
	Establecimiento de requisitos para el vertido de aguas residuales industriales biodegradables		
1998	Tratamientos más rigurosos	Zonas sensibles	>10.000 h-e
	Prohibición de la evacuación de fangos a las aguas superficiales		
2000	Tratamiento secundario	Zonas normales	>15.000 h-e
	Tratamiento primario	Zonas menos sensibles	15.000 - 150.000 h-e
	Tratamiento aguas residuales industriales biodegradables	Todas	>4.000 h-e
2005	Tratamiento secundario	Zonas normales (aguas costeras)	>10.000 h-e
		Zonas normales (aguas continentales y estuarios)	>2.000 h-e
	Tratamiento primario	Zonas menos sensibles (estuarios)	2.000 - 10.000 h-e
		Zonas menos sensibles (aguas costeras)	10.000 - 15.000 h-e
	Tratamiento adecuado	Aguas continentales y estuarios	>2.000 h-e
		Aguas costeras	>10.000 h-e

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2006).

Tabla 4. Fechas Límites para la implementación de la directiva 91/271/CEE.

Tamaño Población	Tipo de tratamiento	Fecha Límite
0 - 2.000 h-e	Tratamiento adecuado	31/12/2005
2.000 - 10.000 h-e	Tratamiento primario o secundario	01/01/2005
> 10.000 h-e	Tratamiento secundario	02/01/2000

Fuente: Directiva 91/271/CEE

Según la definición establecida por el Real Decreto-Ley 11/1995 de 28 de Diciembre (BOE 312, de 30-12-95) que tiene por objeto la transposición al ordenamiento interno de la Directiva 91/271/CEE del Consejo relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas, se entiende por aguas residuales urbanas, aquellas aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial (Martín *et al.*, 2006).

Así mismo, y de acuerdo a dicha Directiva, las aguas residuales se pueden clasificar:

Tabla 5. Clasificación aguas residuales según la Directiva 91/271/CEE.

Tipos	Definición	Características
Aguas residuales domésticas	Aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios y generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ aguas de cocina ▪ aguas de lavadoras ▪ aguas de baño ▪ aguas negras procedentes del metabolismo humano
Aguas residuales industriales	Aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial	Composición muy variable dependiendo del tipo de industria
Aguas procedentes de escorrentías pluviales	Agua de lluvia	Arrastran partículas y contaminantes presentes tanto en la atmósfera como en los viales

Fuente: Martín *et al.* (2006).

La Directiva Marco del Agua aprobada en el año 2000 creó el concepto de demarcación hidrográfica, entendiendo como tal la zona terrestre y marina compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas a dichas cuencas (Salas *et al.*, 2008).

Según el Real Decreto 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas, en el caso específico de España, ese concepto no puede operar sobre el presupuesto de un hipotético vacío previo, sino, al contrario, sobre una estructura de cuencas hidrográficas más que consolidada y ajustada en líneas generales a la estructura organizativa y de división competencial entre el Estado y las Comunidades Autónomas. Por eso, se ha optado por mantener, en la medida de lo posible, la actual estructura de cuencas hidrográficas mediante la correspondiente adición de las aguas de transición y las costeras, según resulta también del contenido del artículo 16 bis del Texto Refundido de la Ley de Aguas (Salas *et al.*, 2008).

La Tabla 6 explica la competencia de gestión otorgamiento y seguimiento sobre los vertidos:

Tabla 6. Gestión y otorgamiento de los vertidos según los órganos competentes.

TIPO DE VERTIDO	DESTINO	ÓRGANO COMPETENTE	
		CUENCAS INTERCOMUNITARIAS	CUENCAS INTRACOMUNITARIAS
DIRECTO	Aguas Superficiales (cauces, canales de riego, subterráneas, etc.) o cualquier otro elemento del DPH	Organismo de cuenca	Administración hidráulica autonómica
	Aguas subterráneas	Organismo de cuenca	Administración hidráulica autonómica
INDIRECTO	Aguas superficiales (azarbes y canales de desagüe)	Organismo de cuenca	Administración hidráulica autonómica
	Aguas superficiales (red de alcantarillado o de colectores)	Organismo autonómico o local competente	Administración hidráulica autonómica
	Aguas subterráneas	Organismo de cuenca	Administración hidráulica autonómica
TODOS	Aguas cotejas y de transición (dominio-público marítimo-terrestre)	Órganos Autonómicos	Administración hidráulica autonómica

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2007).



Figura 4. Mapa del reparto competencial en materia de vertidos al dominio público hidráulico por cuencas hidrográficas. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2007).

El proceso dentro de la normativa española para la transposición de la normativa europea y los diferentes planes nacionales para el cumplimiento de la normativa, lo dividimos en dos puntos, explicados en las Tablas 7,8 y 9:

1.2.1. Normativa española

Para entender la creación de normativa española respecto a la gestión de las aguas residuales tenemos que tener en cuenta dos directivas europeas. Estas directivas son:

- Directiva 91/271/CEE: Su finalidad es la protección del medio ambiente contra todo deterioro debido al vertido de esas aguas.
- Directiva 20/60/CEE: Su finalidad es establecer un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. La Directiva Marco del Agua (DMA) tiene entre sus principales objetivos la protección y mejora de las masas de agua superficiales y subterráneas y de sus ecosistemas asociados, la reducción progresiva de la contaminación, el garantizar el suministro suficiente de agua superficial o subterránea en buen estado y el paliar los efectos de sequías e inundaciones (Salas *et al.*, 2008).

Tabla 7. Normativa española en función de la transposición de la Directiva Europea 91/271/CEE.

NORMATIVA	FECHA	OBJETIVO
Directiva 91/271/CEE		
Real Decreto Ley 11/1995	28 de diciembre de 1995	Se establece la normativa aplicada en el tratamiento de las aguas residuales y las competencias de las autoridades españolas
Real Decreto 506/1996	15 de marzo de 1996	RD de desarrollo del Real Decreto Ley 11/1995. En este RD se complementa las normas de recogida, depuración y vertido de las aguas residuales y complementa al ordenamiento jurídico español la normal comunitaria
Real Decreto 2116/1998	2 de octubre de 1998	Modificación del RD anterior. Recoger la Directiva 98/15/CEE, por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE en relación con determinados requisitos establecidos en su Anexo I

Fuente: Salas *et al.* (2008).

Tabla 8. Normativa española en función de la transposición de las Directiva Europeas 20/60/CEE.

NORMATIVA	FECHA	OBJETIVO
Directiva 20/60/CEE		
Real Decreto Legislativo	20 de Julio de 2001	Aprobación de texto refundido de la Ley de Aguas
Ley 62/2003	30 de diciembre de 2003	Modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por la que se incorpora al derecho español la Directiva 2000/60/CE, estableciendo un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas
Ley 11/2005	22 de junio de 2005	Modificación del Plan Hidrológico Nacional
Real Decreto 606/2003	23 de mayo de 2003	Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico
Real Decreto 927/1988	29 de julio de 1988	Aprobación del Reglamento de la Administración Pública del Agua y de Planificación Hidrológica
Real Decreto 125/2007	2 de febrero de 2007	Ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas

Fuente: Salas *et al.* (2008).

1.2.2. Planes Nacionales

Estos planes se crean con la finalidad del cumplimiento de los objetivos de la directiva 91/271/CEE. Los planes nacionales a lo largo de los años han supuesto la inyección económica para la construcción de infraestructuras y gestión de las plantas de depuración de aguas urbanas.

Tabla 9. Planes Nacionales.

PLANES NACIONALES	FECHA	OBJETIVO
Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Agua Residuales (1995-2005)	28 de abril de 1995	Cumplimiento del calendario dictado por la directiva europea 91/271
Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración (2007-2015)	1 de abril de 2008	Cumplimiento de los objetivos no alcanzados en el anterior Plan Nacional
Plan Nacional de Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización (PLAN DSEAR) (2014-2023)	8 de Junio de 2014	Revisión de las estrategias de intervención en las políticas del agua y mejorar la eficacia de las acciones públicas sobre las materias de saneamiento, depuración y reutilización

Fuente: Miteco (2022).

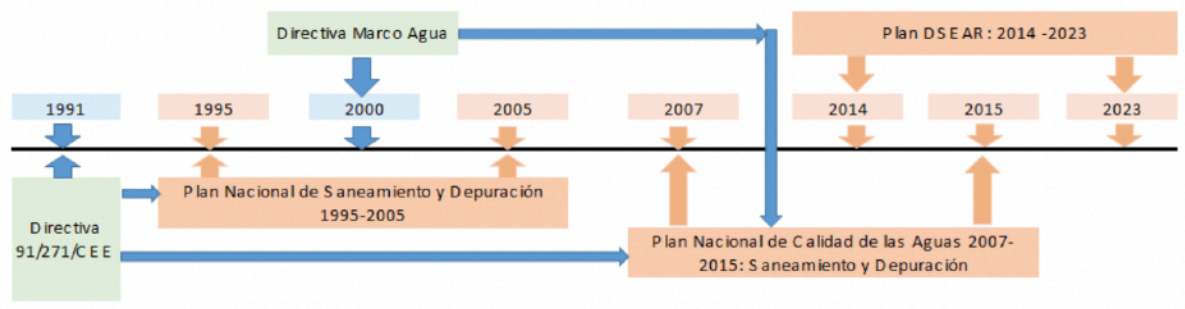


Figura 5. Diagrama de los planes nacionales generados a través de la normativa europea. Fuente: Miteco (2022).

1.2.2.1. Incumplimiento de la normativa para la creación del nuevo Plan Nacional

España sigue incumpliendo la Directiva 91/271/CEE, donde se exigía la adaptación de los sistemas de depuración municipales en 2001. Mas de 20 años desde la aprobación de dicha normativa, la depuración de las aguas residuales es una asignatura pendiente (Redacción iAqua, 2020).

Según la directiva, comentada anteriormente, España tendría que tener adaptados y construidos sistemas de depuración para poblaciones y municipios de más de 15.000 habitantes. En 2001, no se cumplió la directiva en más de 37 localidades de más de 15.000 habitantes, por lo que Bruselas optó por ampliar el plazo hasta 2013.

En 2016 de las 37 localidades que no habían adaptado o implementado nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales, 17 de ellas seguían creciendo de los sistemas adecuados. Esto llevó a una multa por parte del Tribunal Supremo de 46 millones de euros. Una vez dictada la sentencia en España 8 localidades de las 17, ya se habían ajustado a la directiva, pero 9 de ellas seguían vulnerando la directiva europea, por lo que la multa se redujo a más de 10 millones de euros.



Figura 6. Multas europeas por el incumplimiento de la directiva. Fuente: Locken (2018).

El incumplimiento de los requisitos ha supuesto para el estado español de multas cercanas a los 33 millones de euros y que aumentará, ya que hasta 2023 no se va a cumplir la normativa europea.

Pero el problema no acaba aquí, ya que de acuerdo a la Directiva 91/271/CEE, las aglomeraciones de entre 10.000 y 15.000 habitantes equivalentes (h-e) tenían que tratar sus aguas residuales urbanas a través de un tratamiento secundario en 2005 y, en el caso de vertidos a masas de agua dulce y estuarios, las localidades de entre 2.000 y 10.000 habitantes.

En este contexto y debido al incumplimiento de las normativas, donde 612 localidades de entre 2.000 y 15.000 h-e cometían una infracción de la directiva se envía, en 2015, un dictamen motivado. A ello se suman otras 400 concentraciones poblacionales que siguen sin tener una correcta depuración de sus aguas (Redacción iAqua, 2020).

1.2.2.2. Plan DSEAR

En 2020, España recibe un requerimiento para 133 localidades que siguen careciendo de tratamiento deseado por la directiva. Con el objetivo de evitar nuevas sanciones por parte de la comisión europea, el gobierno español lanza el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (DSEAR).

En este plan se fijan las directrices de actuación:

Tabla 10. Objetivos Plan DSEAR.

PLAN DSEAR	
Objetivos de Gobernanza	Objetivos Operativos
Definición de criterios directores del Plan DSEAR	Revisión, actualización y validación del listado de actuaciones programadas
Propuestas normativas para la priorización de determinadas inversiones requerida por los programas de medidas	
Propuestas de refuerzo de la cooperación interadministrativa para la revisión y el impulso de los programa de medidas	Actualización de la información específica de cada una de las actuaciones
Propuestas normativas para la mejora de la eficiencia energética integral de las plantas de tratamiento, regeneración y reutilización de aguas residuales	
Propuestas normativas para mejorar la financiación de las medidas	Establecimiento de su nivel de priorización
Propuestas normativas para el fomento de la reutilización de aguas residuales regeneradas	

Fuente: Ministerio para la transición ecológica (2018).

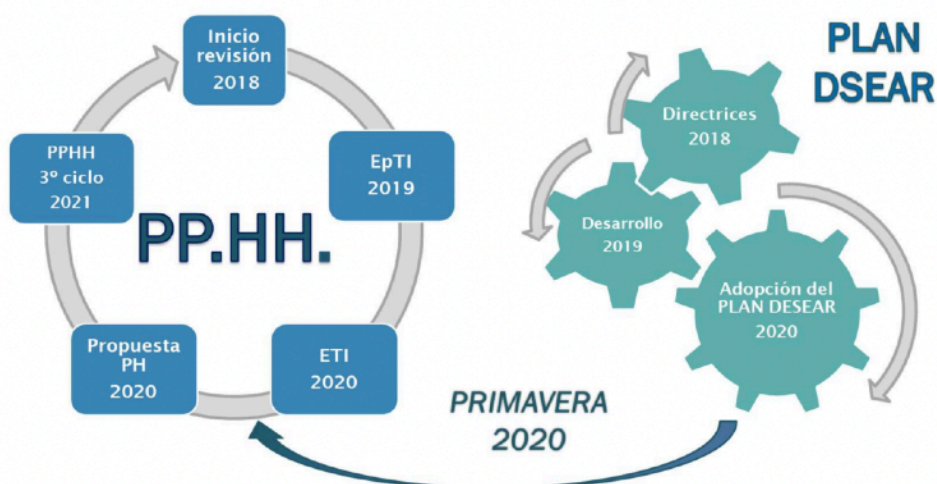


Figura 7. Diagrama del diseño del Plan DSEAR para garantizar la integración de sus resultados en la planificación hidrológica del tercer ciclo (2021-2027). Fuente: Ministerio para la transición ecológica (2018).

1.3. Gestión público-privada de las aguas residuales en España

En España, el agua es un recurso universal, cuya titularidad pertenece a los municipios. No obstante la gestión tanto del abastecimiento como del saneamiento está dirigida entre figuras públicas, mixtas y privadas. (El ágora, 2020)

La gestión en todo caso, corresponde al ayuntamiento. No obstante, debido a varias causas puede cederse la gestión a mancomunidades, consejos comarcales, o directamente a las agencias de las comunidades autónomas creadas al efecto. Se han cambiado con los años los modelos de agrupación de depuradoras, de manera que la gestión requiere ser mancomunada. En la gestión de aguas residuales, ha sido más común la explotación de los sistemas por parte de empresas dedicadas a esta actividad. Son escasos los municipios que gestionan directamente sus depuradoras aunque suele ser habitual que se mancomunen servicios. También suelen ser mancomunados los servicios de las grandes aglomeraciones (Díaz *et al.*, 2016)

Según un estudio elaborado por la consultora PwC, el sector del agua urbana ha aumentado a tasas anuales del 6% desde el año 2000. Esta evolución son debidas a las mejoras que se han implementado a lo largo de los años en la calidad en el saneamiento y depuración. Entre 2000 y 2014, el porcentaje de agua depurada ha pasado de menos del 50% a representar más del 80% del agua consumida. (El ágora, 2020)

Como hemos comentado anteriormente, los municipios y las comunidades autónomas son los encargados de la regulación, de las tarifas pagadas por los servicios y son dueños de las plantas de depuración. Gracias a ellos esta mejora de los servicios ha sido posible, pero no obstante la mejora de los servicios e infraestructura ha sido llevado a cabo por las empresas privadas quienes han aportado el capital y las mejoras tecnológicas.

Hay que tener en cuenta que el sector privado del agua en España, además de proveer servicios, también es a menudo gestor de las infraestructuras de saneamiento y depuración que permiten realizar el ciclo urbano del agua, ya sea mediante concesiones o a través de participaciones en empresas mixtas entre capital público y privado. De hecho, en España la presencia privada en la gestión del agua urbana es relevante, con una cuota aproximada del 50% entre concesiones y empresas mixtas, según datos de las principales agrupaciones sectoriales, la Asociación Española de Empresas Gestoras de los Servicios de Agua Urbana (AGA) y la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS). Ambas agrupan a empresas públicas y privadas, representando más del 80% del sector. (El ágora, 2020)

En el caso de la depuración de las aguas es gestionado principalmente por empresas privadas, ya que en muchos casos las partidas presupuestarias o las capacidades tecnológicas no son suficientes para poder hacerse cargo de la gestión. La depuración es una actividad en la cual se necesita de gran inversión para la investigación y desarrollo, por lo que fuente del sector calculan que el 80% está gestionando por empresas privadas (El ágora, 2020).

1.4. Tecnologías utilizadas en la depuración de aguas residuales en España

1.4.1. Problemática en la depuración de aguas residuales en las zonas rurales españolas

Los pequeños núcleos poblacionales, desarrollan un desafiante problema en el ámbito de gestión de aguas residuales. Estas cuestiones son debidas normalmente a su situación geográfica y al poco desarrollo que presentan sus infraestructuras.

Tabla 11. Problemática y soluciones tecnológicas para zonas rurales.

PROBLEMÁTICAS Y POSIBLES TIPOS DE TECNOLOGÍA	
PROBLEMÁTICA	Cumplimiento de las normativas estrictas
	Los costes de implantación de las tecnologías tradicionales son demasiado altos y no son asumibles para pequeñas aglomeraciones poblacionales
	Costes de mantenimiento y explotación elevadas
	Poca capacidad técnica
SOLUCIONES TECNOLÓGICAS	Poco gasto energético
	Mantenimiento y explotación sencilla
	Mínimo impacto sonoro
	Sistemas robustos
	Autorregulables
	Integración con el medio ambiente
	Funcionamiento eficaz antes fluctuación de caudales y carga
Simplificación en la gestión de los lodos	

Fuente: Martín *et al.* (2006).

1.4.2. Criterios para la elección de tecnologías de depuración en zonas rurales

Tabla 12. Criterios elección de tecnología.

CRITERIOS ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	
CRITERIOS TÉCNICOS	Calidad requerida del efluente según el medio receptor (tratamiento adecuado)
	Tamaño de la población (en habitantes-equivalentes)
	Superficie disponible
	Naturaleza del agua residual
	Flexibilidad y adaptación de la capacidad de tratamiento
	Meteorología
	Gestión de fango generado
	Complejidad en la explotación y mantenimiento
CRITERIOS AMBIENTALES	Producción de olores
	Generación de ruidos
	Integración paisajística
CRITERIOS ECONÓMICOS	Costes de inversión
	Costes de explotación

Fuente: Ibarguren *et al.* (2013).

1.4.3. Tecnologías usadas para la depuración de aguas en zonas rurales

Tabla 13. Posible tecnologías para implementar en zonas rurales.

POSIBLES TECNOLOGÍAS EN ZONAS RURALES		
PRETRATAMIENTOS	Desbaste	
	Desarenado	
	Desengrasado	
TRATAMIENTOS PRIMARIOS	Fosas sépticas	
	Tanques Imhoff	
	Decantación primaria	
TRATAMIENTO SECUNDARIOS (TECNOLOGÍAS EXTENSIVAS)	Lagunajes	
	Humedales Artificiales	Humedal artificial de flujo horizontal
		Humedal artificial subsuperficial de flujo vertical
		Humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal
		Humedal artificial de macrofitos en flotación
	Filtros intermitentes de arena	
	Infiltración-percolación	Filtros verdes
		Zanjas Filtrantes
	Filtro de Turba	
	TRATAMIENTO SECUNDARIOS (TECNOLOGÍAS INTENSIVAS)	Aireaciones prolongadas
Lechos Bacterianos		
Contactores biológicos rotativos (CBR)		
Reactores secuenciales discontinuos (SBR)		
Sistema de biomasa fija sobre lecho móvil		

Fuente: Ibarguren *et al.* (2013).

1.4.4. Ventajas e inconvenientes de las tecnologías

Tabla 14. Ventajas y desventajas del pretratamiento.

PRETRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Sistemas manuales y automáticos</p>	<p>Dado que la limpieza se realiza de manera automática, se reduce el número de atascos</p>	<p>Dado que los equipos de limpieza automática son sistemas electromecánicos, necesitan un consumo energético para su funcionamiento</p>
	<p>Se obtienen mayores rendimientos debido a la reducción de atascos conseguida</p>	<p>Posibles averías en los equipos electromecánicos</p>
	<p>Reducción del personal para el mantenimiento de los equipos</p>	<p>Mayor coste de los equipos utilizados</p>

Fuente: Ortega *et al.* (2010).

Tabla 15. Ventajas y desventajas de los tratamientos primarios.

TRATAMIENTO PRIMARIO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fosa séptica	Bajos costes de mantenimiento	Presencia de olores
	Precisa poco espacio superficial ya que están enterradas	
	Sin consumo energético	Mantenimiento constante
	Sin son unidades prefabricadas, instalación rápida	
Tanques imhoff	Bajos costes de mantenimiento	Presencia de olores
	Precisa poco espacio superficial ya que están enterradas	
	Sin consumo energético	Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por mala construcción
	Sin son unidades prefabricadas, instalación rápida	
Decantación primaria	Bajos costes de mantenimiento	Presencia de olores
		Coste energético
	Fácil instalación	Generación de lodos no estabilizados
	Bajo impacto acústico	Escasa estabilidad frente a sobrecargas hidráulicas

Fuente: Ortega *et al.* (2010).

Tabla 16. Ventajas y desventajas de los tratamientos secundarios extensivos.

TRATAMIENTO SECUNDARIOS EXTENSIVOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Lagunajes	Nulo consumo energético	Implementación aconsejable en zonas con alta radiación solar y temperaturas cálidas
	Ausencia de averías si no se utiliza ningún equipo electromecánico	
	Poca producción de fangos	Posible plagas
	Alta mineralización de los fangos debido a al elevado tipo de retención	Cumplimiento de grades requisitos en el terreno
	Elevado poder de inactivación de microorganismos patógenos	Elevada concentración de sonidos en suspensión
Humedales artificiales	Nulo o mínimo consumo energético	Necesidad de buena construcción, dimensionamiento y funcionamiento debido a que hay pocos factores de control
	Ausencia de olores	
	Perfecta instalación en zonas rurales	Necesidad de más superficie para la implementación
	Uso de plantas autóctonas de la zona	Aparición de placas y mosquitos en los humedales de flujo superficial
	Aprovechamiento de la biomasa vegetal	Riesgo de colectación del sustrato en los humedales de flujo subsuperficial horizontal
Filtros intermitentes de arena	Nulo o mínimo consumo energético	Más superficies para su implementación
		Riesgo de contaminación si el sustrato no es el adecuado
	Sencillez operativa	Grandes costes de implementación si el material no es adecuado

TRATAMIENTO SECUNDARIOS EXTENSIVOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Infiltración - Percolación	Nulo o mínimo consumo energético	Más superficies para su implementación
	Mínima producción de olores	Riesgo de contaminación si el sustrato no es el adecuado
	Altos niveles de nitrificación	Necesidad de periodos de reposo
	Altos rendimientos de eliminación de materia orgánica y materia en suspensión	Grandes costes de implementación si el material no es adecuado
Filtros Verdes	Bajo coste explotación y mantenimiento	Más superficies para su implementación
	Nulo o mínimo consumo energético	Climatología no excesivamente fría o húmeda
	Aprovechamiento de la biomasa vegetal	Topografías no excesivamente abruptas
	Mínima producción de olores	Condicionantes litológicos e hidrogeológicos adecuados
Zanjas Filtrantes	Bajos costes de explotación y mantenimiento	Más superficies para su implementación
	Nulo consumo energético	Su posible aplicación depende de las características del suelo, como la capacidad de infiltración del mismo, y de la existencia de acuíferos someros
	Ausencia de averías electromecánicas	
	Elevado rendimientos de depuración	
Filtros Turba	El sistema puede ser operado sin consumo energético	Elevado coste por la turba
		Coloración de los efluentes
	Elevado grado de depuración de las aguas residuales	Grandes costes de implementación si el material no es adecuado

Fuente: Ortega *et al.* (2010).

Tabla 17. Ventajas y desventajas de los tratamientos secundarios intensivos.

TRATAMIENTO SECUNDARIOS INTENSIVOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aireación Prolongada	Se necesita poca superficie para su implantación	Gran consumo energético
	Altos rendimientos de eliminación de nitrógeno total	Sensible a sobrecargas hidráulicas
	Olores mínimos	Generación de fangos de forma continua
	Producción de fangos estabilizados	
Lechos Bacterianos	Se necesita poca superficie para su implantación	Producción de fangos no estabilizados
	Gran tolerancia a sobrecargas hidráulicas	Poca integración paisajística
	Bajo consumo energético	Mayor cantidad de equipos electromecánicos
Contactores Biológicos Rotativos (CBR)	Se necesita poca superficie para su implantación	Elevado coste de implantación
	Bajo consumo energético	Producción de fangos no estabilizados
	Mínimo ruido	Mayor cantidad de equipos electromecánicos
	Buen comportamiento ante la tecnologías extensivas presencia de tóxicos debido a que la biomasa va a alternar su contacto entre el agua residual y la atmósfera	
Reactores Secuenciales Discontinuos (SBR)	Se necesita poca superficie para su implantación	Elevado coste de implantación
	Poca producción de fangos	Gran consumo energético
	Flexibilidad frente a variaciones de caudal	Alto nivel de mantenimiento

TRATAMIENTO SECUNDARIOS INTENSIVOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Altos rendimientos de eliminación de nitrógeno total	En la fase de sedimentación puede haber gran probabilidad de taponamiento en los dispositivos de aireación
	Olores mínimos	
Sistema de Biomasa Fija sobre Lecho Móvil	Reducción del volumen del reactor biológico debido al uso de un soporte con una superficie específica elevada	Material de relleno costoso
	Buen adaptación a las variaciones de carga	Gran producción de fangos no estabilizados
	Mantenimiento sencillo	Dificultad para vaciar el reactor biológico

Fuente: Ortega *et al.* (2010).

1.4.5. Nivel depurativo alcanzado en función de los sistemas utilizados**Tabla 18.** Nivel depurativo alcanzado en función de los sistemas utilizados.

SISTEMA	ETAPA	EFLUENTE FINAL					
		SS (%)	DBO5 (%)	DQO (%)	N-NH ₄ (%)	N _t (%)	P _t (%)
Fosa séptica	Primario	50-60	20-30	20-30			
Tanque Imhoff	Primario	50-60	20-30	20-30			
Decantación primaria	Primario	60-65	30-35				
Lagunaje	Secundario	40-80	75-85	70-80	30-70	40-80	30-60
Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Horizontal	Secundario	90-95	85-90	80-90	20-25	20-30	20-30
Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	60-70	60-70	20-30
Filtro de Turba modificado	Secundario con nitrificación	85-95	90-95	80-90	85-95	15-20	70-80
Filtro Intermitente de Arena	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
Filtro Intermitente de Arena (con recirculación)	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
Infiltración-Percolación	Secundario con nitrificación	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
Contactador Biológico Rotativo (CBR)	Secundario o Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	60-80	20-35	10-35
Lecho Bacteriano	Secundario o Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	60-80	20-35	10-35
Aireación prolongada	Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	90-95	80-85	20-30
Reactor Secuencial	Secundario con nitrificación	>90	>90	80-90	90-95	80-85	55-65
Reactor Biopelícula sobre Lecho Móvil	Secundario o Secundario con nitrificación	85-95	85-95	80-90	90-95	70-80	20-30

Fuente: Ortega *et al.* (2010)

1.4.6. Rango de aplicación recomendable de los sistemas de depuración

Tabla 19. Rango de aplicación recomendable de los sistemas de depuración.

RANGO DE APLICACIÓN RECOMENDABLE DE LOS SISTEMAS DE DEPURACIÓN				
TECNOLOGÍA	Rango de Población (h-e)			
	50-200	200-500	500-1.000	1.000-2.000
Fosa séptica	■			
Tanque Imhoff	■	■		
Decantación primaria			■	■
Laguna anaerobia		■	■	■
Lagunaje	■	■	■	■
Humedal artificial	■	■	■	■
Filtros de turba	■	■	■	■
Filtros intermitentes de arena	■	■	■	■
Contactador biológico rotativo	■	■	■	■
Lecho bacteriano	■	■	■	■
Aireación prolongada	■	■	■	■
Reactores secuanciales	■	■	■	■
Biopelícula sobre lecho móvil		■	■	■

*La zonas mas oscura indica el intervalo de población en el cual la tecnología es espacialmente recomendada.

Fuente: Ortega et al. (2009).

1.4.7. Tecnologías aplicadas en pequeñas poblaciones por orden de abundancia y comunidad autónoma

Tabla 20. Tecnologías aplicada en pequeñas poblaciones por orden de abundancia y comunidad autónoma.

TECNOLOGÍAS APLICADAS EN PEQUEÑAS POBLACIÓN POR ORDEN DE ABUNDANCIA Y CCAA				
CCAA	Primera	Segunda	Tercera	Otras tecnologías
Andalucía	Tratamiento Primario (Fosas sépticas y tanques Imhoff)	Aireación prolongada	Filtros de turba	Contactores biológico rotativos (CBR), lagunaje, humedal artificial y lechos bacterianos.
Aragón	Aireación prolongada	Lechos bacterianos	Biodiscos	Tratamiento Primario
Asturias	Tratamiento Primario (Fosas sépticas y tanques Imhoff)	Aireación prolongada	Lagunaje	Tratamiento biológico con eliminación de N y P
Cantabria	Aireación prolongada	Aireación prolongada junto con lagunaje	Tratamiento Primario	
Castilla-La Mancha	Aireación prolongada y lagunaje	Aireación prolongada junto con lagunaje	Lechos bacterianos	Contactores biológico rotativos (CBR), tratamientos primarios y filtros verdes
Castilla y León	Tratamiento Primario (Fosas sépticas y tanques Imhoff)	Aireación prolongada	Fosas sépticas junto con filtros biológicos	Lagunaje, lechos bacterianos y filtros de turba

TECNOLOGÍAS APLICADAS EN PEQUEÑAS POBLACIÓN POR ORDEN DE ABUNDANCIA Y CCAA				
CCAA	Primera	Segunda	Tercera	Otras tecnologías
Cataluña	Aireación prolongada	Biodiscos	Humedales artificiales, filtros verdes y lechos bacterianos	Lagunaje y tratamientos primarios
Extremadura	Aireación prolongada	Biodiscos	Lechos bacterianos	Lagunaje
Galicia	Aireación prolongada	Lechos bacterianos	Tratamiento Primario	Tratamiento físico-químico
La Rioja	Aireación prolongada	Lechos bacterianos	Lagunaje	Biocilindros
Madrid	Aireación prolongada	Biodiscos	Lechos de turba	Filtros verdes
Navarra	Tratamiento Primario (Fosa séptica)	Lechos bacterianos	Biomasa fin sobre lecho móvil (MBBR)	Humedal y filtro de arena junto con lagunaje y aireación prolongada
Valencia	Aireación prolongada	Lechos de turba	Biodiscos/ Biocilindros	Lechos bacterianos
País Vasco	Tratamiento Primario (Fosas sépticas y tanques Imhoff)	Zanjas, lechos y pozos filtrantes, lagunaje, filtros de turba	Aireación prolongada	

Fuente: Salas *et al.* (2008).

2. Aguas residuales en zonas rurales en Chile

2.1. Demografía

La Política Nacional de Desarrollo Rural entiende por territorio rural aquel que se genera producto de la interrelación dinámica entre las personas, las actividades económicas y los recursos naturales, caracterizado principalmente por una población cuya densidad poblacional es inferior a 150 hab./km², con una población máxima de 50.000 habitantes, cuya unidad básica de organización y referencia es la comuna. Así, la Política propone la siguiente clasificación comunal (Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio, 2021):

- Las comunas predominantemente rurales se definen como aquellas en que más de un 50% de la población vive en distritos censales de densidad menor a 150 hab./km².
- Las comunas mixtas se definen como aquellas en que entre un 25% y un 49% de la población vive en distritos censales de densidad menor a 150 hab./km².
- Las comunas predominantemente urbanas se definen como aquellas en que menos de un 25% de la población vive en distritos censales de densidad menor a 150 hab./km².

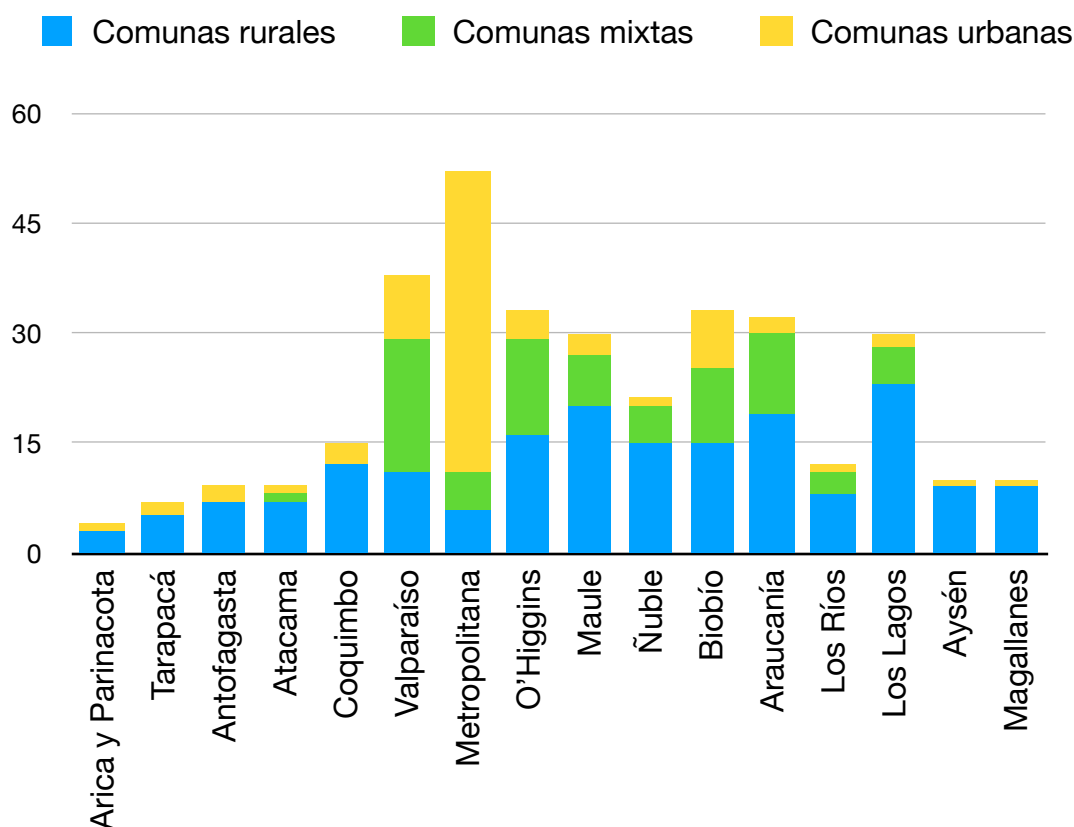


Figura 8. Clasificación de las Regiones chilenas por tipo y número de comunas. Fuente: Elaboración propia a través de los datos de la Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio (2021).

Las zonas rurales chilenas engloban a una población de casi dos millones de personas las cuales conforman comunas rurales (11,4% del total del país).

Ruralidad en Chile

Criterio PNDR (OCDE)

El 83% de la superficie de Chile pertenece a comunas rurales (263 de las 346)

Fuente: Censo 2017
Análisis no considera la comuna de la Antártica

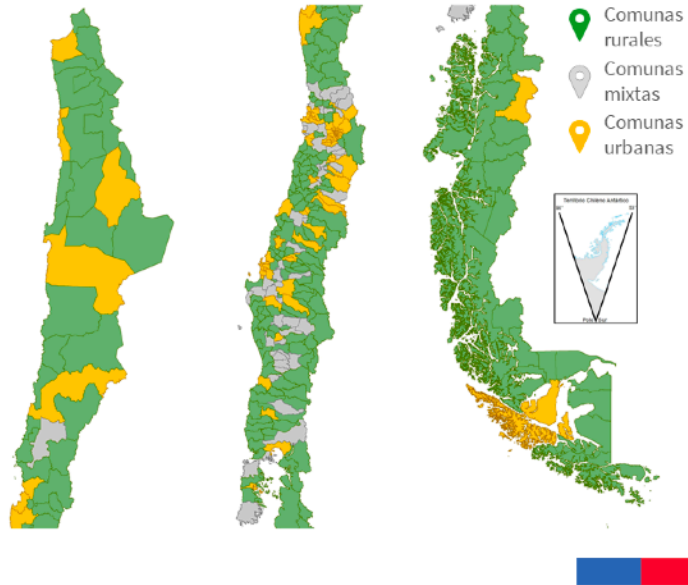


Figura 9. Ruralidad en Chile. Fuente: Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio (2022).

2.2. Contexto de sequía en Chile

En Chile, la escasez de agua afecta a cerca de un millón de personas y más de 383.204 hogares o viviendas carecen de agua potable. Al no tener acceso a agua potable estas comunidades se ven afectadas en el desarrollo económico, en el educacional, sanitario y en el referente a la igualdad de género (Fundación Amulén, 2019). Por lo que sin el desarrollo de una infraestructura para el abastecimiento de agua potable no habrá posibilidad de salir de la pobreza.

Chile está viviendo en la actualidad una de las escaseces hídricas más profundas y largas de la historia. Esta sequía afecta con mas intensidad a las zonas entre las regiones de Atacama y La Auracanía (Fundación Amulén, 2019).



Figura 10. Visor territorial de sequía en Chile. Fuente: Ministerio de Bienes Nacionales (2022).

Debido a la crisis climática, una de las consecuencias más importantes y graves son los 13 años de la peor sequía de la historia, con unos datos como los siguientes (Gobierno de Chile, 2021):

- Déficit de precipitaciones entre el 60% y 80% del promedio histórico.
- Acumulación de nieves con un déficit superiores al 85%.
- Los principales embalses cuenta con solo un 34% de su capacidad, y la proyección para el cauda de los ríos está en los mínimos históricos.

2.2.1. Zonas rurales

El 47% de población chilena que vive en zonas rurales no tiene acceso a un abastecimiento de agua potable. Este 47% de la población rural que no cuenta con un abastecimiento formal de agua potable se concentra principalmente en la macrozona sur, siendo las regiones que poseen una mayor proporción de población rural son: La Araucanía (71%), Biobío (68%), Los Lagos (64%) y Los Ríos (62%) (Fundación Amulén, 2019).

Estas poblaciones chilenas que carecen de suministro de agua potable acceden a este recurso a través de agua superficial (río, vertiente, estero o lago), subterránea (pozos) y camiones aljibes, en aquellos casos en los cuales no hay fuentes superficiales o subterráneas disponibles (Fundación Amulén, 2019).

El abastecimiento de agua potable en las zonas rurales se distribuye de la siguiente forma (Fundación Amulén, 2019):

- **58,8%** se abastece desde pozos.
- **25,8%** se abastece de ríos, esteros, canales o vertientes.
- **15,4%** se abastece de camiones aljibes.

En Chile se considera que las agua servidas de tipo rural se originan en asentamientos rurales, ó en asentamientos humanos concentrados ó dispersos que poseen 1.000 o menos habitantes, ó entre 1.001 y 2.000 habitantes con menos del 50% de su población económicamente activa dedicada a actividades secundarias y/o terciarias (Instituto Nacional de Estadísticas, 2002).

Sin embargo, en zonas rurales de un universo de 2,0 millones de personas que conforman la población rural sólo un 18% cuenta con servicios de alcantarillado tradicional y un 8% en los sistemas de tratamiento (DOH, 2014).



Figura 11. Servicios Sanitarios Rurales. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (2020).

2.2.2. Camiones Aljibe

En Chile, dos entidades suministran agua potable: empresas sanitarias y sistemas Agua Potable Rural. Debido a la constante pérdida de recursos hídricos muchas poblaciones no pueden acceder a los suministros de agua potable a través de los medios convencionales (Fundación Amulén, 2019).

Cuando una comuna tiene necesidad de agua potable, debe recurrir a fuentes externas, como son el abastecimiento a través de camiones aljibes. Esta solicitud se realiza vía decreto de emergencia directamente al Ministerio del Interior, donde se aprueba/ rechaza dicho requerimiento. Con esta autorización, el Ministerio del Interior, a través de la SUBDERE, le entrega los recursos a la Gobernación, la cual contrata una empresa proveedora de agua potable a través de camiones aljibes y es la municipalidad la que se encarga de la administración de este recurso entre los vecinos. La frecuencia de distribución puede ser desde diaria hasta siete a 15 días, según los sistemas de acumulación y las distancias de las diferentes localidades de la región (Fundación Amulén, 2019).

En la actualidad, 10 regiones afectadas del país están siendo abastecidas por camiones aljibes. Entre las regiones más afectadas están Biobío, La Araucanía y Coquimbo, concentrando el 66% del gasto público (Fundación Amulén, 2019).

En los últimos cinco años el gasto en camiones aljibes supera los 150.000 millones de pesos (Fundación Amulén, 2019), cerca de casi 170 millones de euros. No obstante, otras fuentes reducen la cifra por el alquiler de los camiones a 92.000 millones de pesos en los últimos 6 años (Ciper, 2019).



Figura 12. Camión Aljibe. Fuente: Gobierno Regional de Coquimbo (2018).

2.2.3. Plan de emergencia

Por todos los motivos explicados anteriormente debido al aumento de la sequía en el país, el gobierno de Chile ha elaborado 2022 un plan de emergencia para asegurar la disponibilidad de agua para todos sus habitantes presentes y futuros.

Este plan de acción tiene 4 ejes principales para poder asegurar el abastecimiento de agua potable para el consumo humano y la producción de alimentos:

- Uso de agua desalada.
- Tecnificación del riego para la producción de alimentos.
- Agua potable rural.
- Uso eficiente en ciudades.

El punto tres, es el que nos concierne las zonas rurales, tiene 3 puntos principales de mejora (Gobierno de Chile, 2021):

- La disminución en la disponibilidad de agua para consumo humano ha afectado especialmente a las zonas rurales donde las familias se abastecen mediante sistemas comunitarios de agua potable rural.
- El Gobierno ha aumentado los recursos invertidos para estas familias, ampliando la cobertura del programa de Agua Potable Rural (APR) del MOP en un 21%, alcanzando una cifra de 2.239 sistemas que benefician a 645 mil familias. El 2021 se invirtieron cerca de 300 millones de dólares, casi triplicando el promedio de inversión anual de la última década (2010-2019).
- Como parte del plan se mantendrá un impulso de inversión en APR para alcanzar una inversión de 650 millones de dólares para el bienio 2021-2022.

2.2.4. El programa APR

Para solventar los problemas de abastecimientos de las comunidades rurales en 1964 el Ministerio de Obras Públicas crea el Programa de Agua Potable Rural (APR) que tiene por misión abastecer de agua potable a localidades rurales, contribuyendo al desarrollo económico y a la integración social del país.

Sus principales objetivos fueron (Ministerio de Obras Públicas, 2019a):

- Dotar de agua potable a la población rural en calidad, cantidad y continuidad.
- Disminuir la tasa de morbilidad y mortalidad originada por enfermedades de origen hídrico.
- Promover el desarrollo económico y social de las localidades rurales.

Este programa ha sido exitoso en generar una red de infraestructura de agua potable rural a localidades rurales concentradas (más de 150 habitantes y densidad mayor a 15 viviendas/km de red) y semiconcentradas, logrando aumentar la cobertura de la población rural con agua potable rural desde un 6% el año 1960 a un 53% el año 2018, atendiendo a 1.787.916 beneficiarios, acarreando esto importantes consecuencias en el ámbito de la salud pública y la superación de la pobreza (Fundación Amulén, 2019).

El problema surge en las localidades rurales semiconcentradas y las comunidades dispersas donde puede que los sistemas APR no hayan llegado. En las localidades semiconcentradas solo el 41% tienen acceso a agua potable.

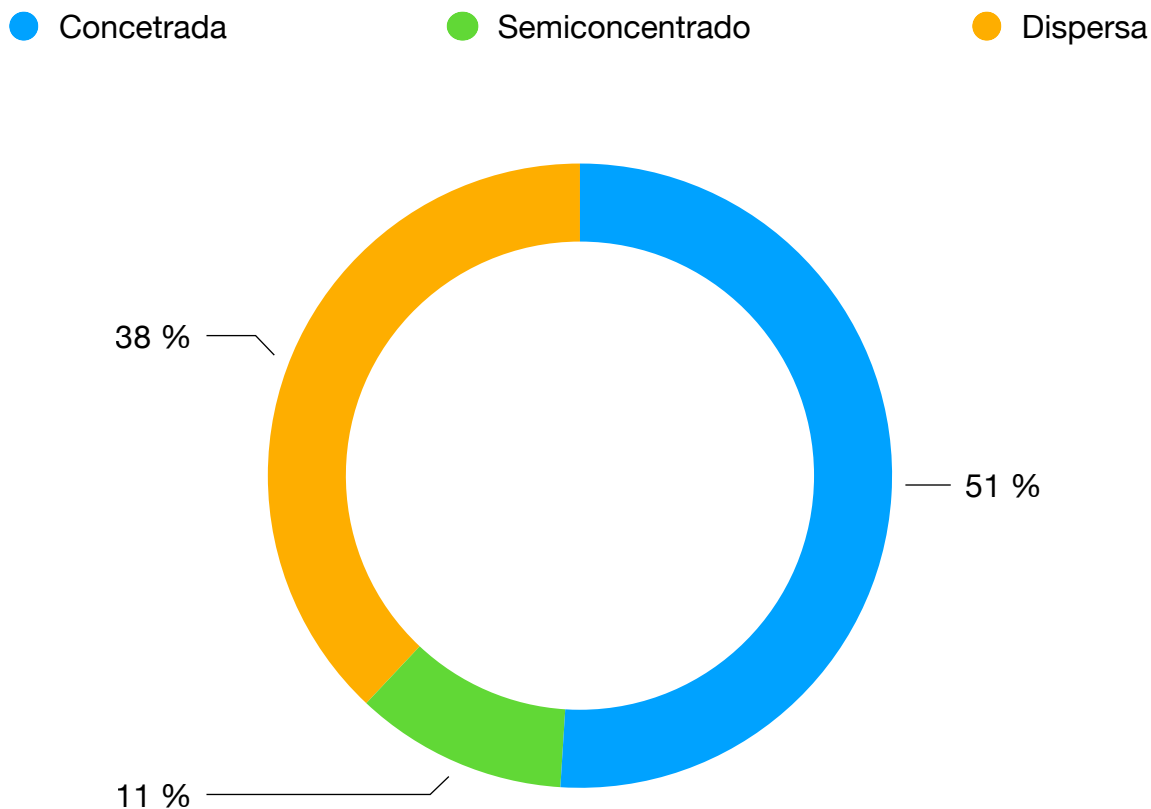


Figura 13. Población rural según CASEN/INE incluida en definición Programa APR 2011. Fuente: Ministerio de Obras Públicas (2015).

A lo largo de los años el programa APR ha dotado a las zonas rurales de infraestructura a aquellos que cumplan con los estándares técnicos de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y los estándares de evaluación socioeconómica del Ministerio de Desarrollo Social (MDS).

2.2.4.1. Organismos involucrados en el programa APR

La administración, operación y mantenimiento de la infraestructura se entrega a los comités y las cooperativas de APR preexistentes o constituidos para tal efecto, a través de una licencia por un periodo de tiempo indefinido.

Existen otros sistemas de APR, ejecutados con recursos distintos a los recursos sectoriales asignados al Programa APR (FNDR, privados, Programa de Infraestructura Rural para el Desarrollo Territorial PIRD, Fondo Presidente de la República del Ministerio del Interior y otros).

Los siguientes organismos están presentes para la aprobación de un proyecto APR:

Tabla 21. Organismos presentes en la gestión de los APR.

ORGANISMO	FUNCIONES
<p>Gobiernos Regionales (GORE)</p> 	<p>Através de consejos regionales (CORE)</p> <p>Aprobar o rechazar las propuestas de priorización de la cartera de proyectos presentadas por el Programa.</p>
<p>Ministerio de Desarrollo Social (MDS)</p> 	<p>Evaluación de los proyectos y en la aprobación de la inversión pública por medio del otorgamiento de la Recomendación Sin Condiciones (RS).</p>
<p>Dirección General de Aguas (DGA)</p> 	<p>Derechos de aprovechamiento (DAA)</p>
<p>Ministerio de Hacienda</p> 	<p>Provisión presupuestaria</p>
<p>Subsecretaría de Desarrollo Regional (SUBDERE)</p> 	<p>Distribución, asignación y provisiones para inversiones complementarias, como las de (electrificación rural, saneamiento, etc.)</p>

Fuente: Ministerio de Obras Públicas (2015).

2.2.4.2. Cobertura de agua potable en la población rural a través del programa APR

A través del programa de APR se han diseñado y gestionado infraestructuras a 1.875 poblados concentrados y semiconcentrados, atendiendo a 1.787.916 beneficiarios y aumentando la cobertura de agua rural desde 6% en 1960 a 52,3% en el año 2018 (Fundación Amulén, 2019).

Tabla 22. Datos población y cobertura APR.

Región	APR (Nº)	Edad promedio APR (años)	Población rural con agua potable (Nº)	Densidad poblacional (hab/km ²)	Cobertura agua potable población rural (%)
Arica y Parinacota	27	18,1	16.384	14,17	42,0
Tarapacá	22	15,2	15.176	7,94	50,3
Antofagasta	15	16,3	12.592	4,94	57,1
Atacama	40	20,7	17.140	4,16	53,9
Coquimbo	192	26,0	158.192	19	65,7
Valparaíso	165	27,0	212.984	11,35	65,6
Metropolitana	109	26,5	185.904	474,9	58,8
O'Higgins	220	28,2	277.156	56,07	86,2
Maule	288	25,1	280.192	34,4	67,3
Ñuble	127	21,2	68.505	33,5	46,6
Biobío	88	22,2	57.620	64,38	32,4
La Araucanía	226	19,0	161.616	31,08	28,8
Los Ríos	117	13,8	84.252	17,31	38,1
Los Lagos	186	13,8	127.812	21,94	36,2
Aysen	42	20,7	24.140	0,99	51,7
Magallanes	11	16,4	3.292	1,24	41,6
Total	1875	20,6	1.787.916		52,8

Fuente: Fundación Amulén (2019).

En la Figura 14 se pueden ver la distribución de las APR en el territorio chileno.

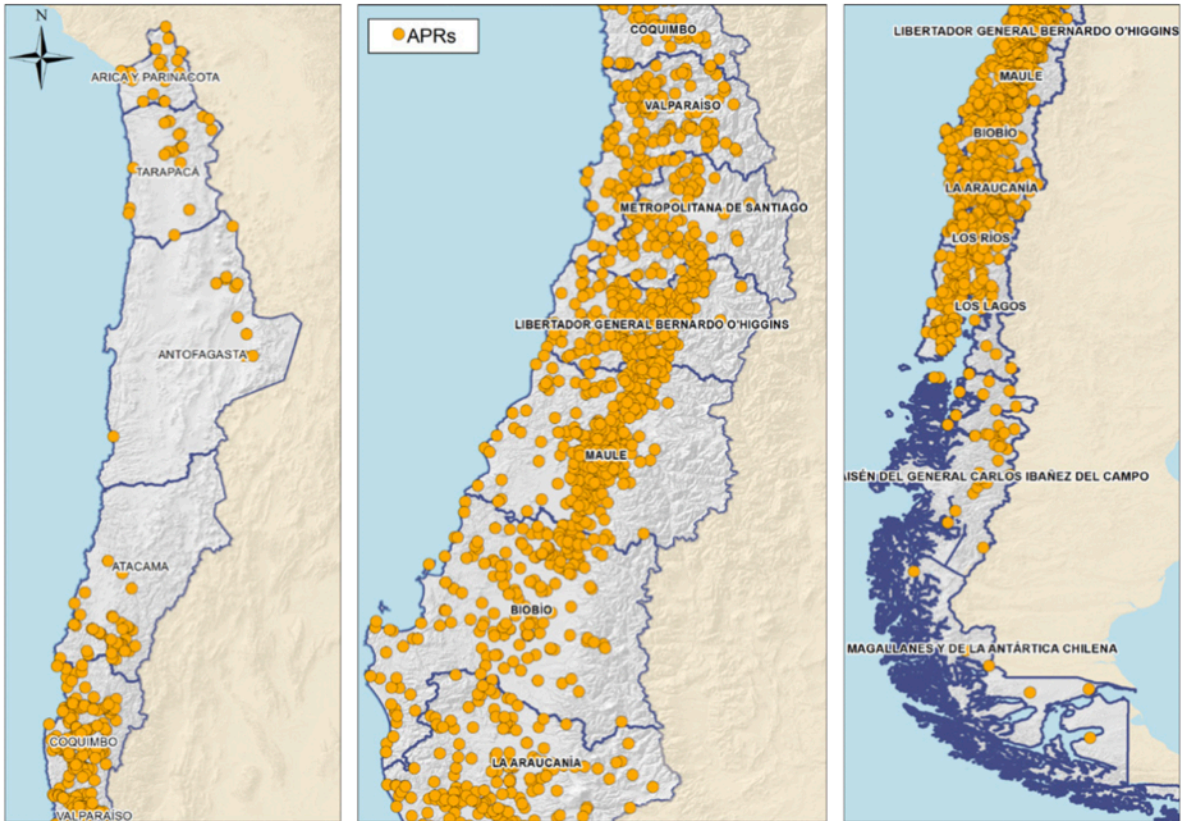


Figura 14. Distribución APR en Chile. Fuente: Fundación Amulén (2019).

2.3. Marco normativo en Chile

El gran problema normativo de Chile es que no hay una normativa clara para el tratamiento de aguas residuales en la zonas rurales. Para ello se ha creado la ley N°20.998, no obstante los instrumentos de gestión no están completamente claros y aún no han sido dictados.

2.3.1 Ley N° 20.998

Junto con la inversión en sistemas de agua rural, la dirección de obras hidráulicas (DOH) a través de la subdirección de Servicio Sanitarios Rurales, ha implementado la Ley 20.998 pero que en la actualidad todavía no se está llevando a cabo. Con esta ley el programa APR pasa a llamarse SSR .

Las principales características de la nueva ley son las siguientes (Ministerio de Obras Públicas, 2020):

- Establece el marco regulatorio y jurídico para la provisión de servicios de agua potable y saneamiento en el sector rural, mediante la entrega de Licencias por el MOP y el Registro de Operadores.
- Mantiene el rol de las organizaciones sociales como operadores y administradores de los servicios y establece Derechos y Obligaciones de los operadores y usuarios.
- Mantiene el rol del Estado como proveedor de la infraestructura necesaria para la prestación de los servicios y regula la contribución de los SR al financiamiento de infraestructura mediante la mantención de un Fondo de Reposición y Reinversión.
- Amplía las competencias de la SISS en el ámbito rural, para fijar las tarifas, fiscalizar la calidad de servicio en coordinación con el Ministerio de Salud, y atender consultas y reclamos de los usuarios.
- Cambia el rol desarrollado por las empresas sanitarias en el sector rural, como unidad técnica y elimina gradualmente los convenios con la DOH para las asesorías en gestión comunitaria y gestión de proyectos, estableciendo la internalización.
- Crea la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales con nuevas funciones, atribuciones y dotación personal.

2.3.2. Normativas de vertido

- **Decreto Supremo N°90/2000** - Norma de Emisión Descarga Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Tiene por objeto regular la descarga de contaminantes hacia cursos de aguas marinas y continentales superficiales mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos, previniendo así de la contaminación de dichos cuerpos de agua. Este decreto establece que toda fuente que descargue sus residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua, deberá caracterizar sus residuos líquidos a modo de evaluar si califica como fuente emisora y si queda sujeta al cumplimiento de la norma de emisión SMA (Casanueva, 2021).
- **Decreto Supremo N°46/2002** - Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterránea. Tiene por objeto regular la descarga de contaminantes hacia aguas subterráneas, mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga

de residuos líquidos, con el objeto de prevenir la contaminación de los acuíferos. Este decreto establece que toda fuente que descargue sus residuos líquidos mediante obras de infiltración, deberá caracterizar los residuos generados a modo de evaluar si califica como fuente emisora y si queda sujeta al cumplimiento de norma de emisión (Casanueva, 2021).

2.3.3. Ley N°21.075

Esta ley lleva ya más de 3 años en espera por un reglamento para aplicarse, por lo que en estos momentos no se está poniendo en práctica. Esta ley tiene por objeto regular la recolección y disposición de las aguas grises domésticas, en las áreas urbanas y rurales, con el propósito de ahorrar y reutilizar el vital elemento.

Establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir el diseño y la operación de los sistemas destinados a la reutilización de aguas grises, ya sea que éstos se ubiquen dentro o fuera del territorio operacional de las concesionarias de servicios sanitarios.

En Chile, a pesar de que existen zonas con serios problemas de abastecimiento hídrico, el concepto de reúso de agua es relativamente nuevo si se compara con otros países como Estados Unidos, México, Israel o Australia, donde su reutilización lleva más de una década (Bravo, 2011).

2.4. Principales problemas en la institucionalidad chilena sobre los recursos hídricos

Según el último estudio de la Fundación Chile los principales problemas que Chile afronta en la gestión de los recursos hídricos, en los cuales la mayoría ellos se pueden extrapolar a la gestión de aguas residuales, son los siguientes (Fundación Chile, 2022):

Tabla 23. Problemas de las políticas públicas chilenas.

POLÍTICA PÚBLICAS	
Principales Problemas	Fuentes
Ausencia de una Política Pública en materia de Gestión de Recursos Hídricos	OCDE (2017); Instituto de Ingenieros (2011).
Ausencia de políticas públicas que incluyan el proceso de gestión de recursos hídricos	Delgado <i>et al.</i> , (2017).
Problemas en la definición de políticas y objetivos multisectoriales, que permitan un adecuado resguardo del interés público	Instituto de Ingenieros, (2011),(2017); Banco Mundial, (2013).
Falta de un seguimiento eficaz de las tareas de formulación, de Políticas Hídricas y de la Planificación Estratégica de los Recursos Hídricos (a nivel nacional y de cuencas)	Banco Mundial, (2013).
Problemas en la coordinación interinstitucional	Instituto de Ingenieros, (2011); Banco Mundial, (2013); Brzovic, (1998).
Planificación Estratégica de la Gestión de Recursos Hídricos de carácter indicativo	Rojas, (2012); Larraín, (2010).
Falta de desarrollo e implementación de instrumentos de carácter multisectorial para la Gestión de los Recursos Hídricos	Fundación Newenko (2021); Delgado <i>et al.</i> , (2017).
Ausencia o impedimentos para ejercer funciones relativas a aspectos cualitativos del agua	Stehr <i>et al.</i> , (2019); OCDE, (2017); Banco Mundial, (2013).
Poderes insuficientes para fiscalizar y orientar el desarrollo de las Organizaciones de Usuarios	OCDE, (2017); Banco Mundial, (2013).

Tabla 24. Problemas de la administración chilena.

ADMINISTRACIÓN	
Principales Problemas	Fuentes
Ausencia de una autoridad política superior que coordine las funciones e instituciones del Estado que tienen relación con el recurso	Instituto de Ingenieros, (2011), (2017); Banco Mundial, (2011),(2013);
Fragmentación de funciones dentro de los organismos del Estado, duplicidad y vacíos en la asignación de estas	Banco Mundial, (2013).
Inadecuada delimitación y coordinación de funciones entre los organismos que intervienen en la gestión de las aguas	Banco Mundial, (2013).
Ausencia de coordinación entre órganos (públicos/privados)	Banco Mundial, (2013).
Comunicación reducida entre autoridades, productores y ciudadanía	Banco Mundial, (2013).
Ausencia de condiciones, mecanismos e instrumentos de gestión que aumentan la brecha en la interfaz ciencia-academia / normativa-políticas públicas / sociedad civil	Stehr <i>et al.</i> , (2019); OCDE, (2017).
Debilidad en la gobernabilidad local del agua	Banco Mundial, (2013).
Falta de mecanismos que permitan una Gestión Integrada de Recursos Hídricos	Stehr <i>et al.</i> , (2019); OCDE, (2017); Instituto de Ingenieros, (2011), (2012), (2017); Banco Mundial, (2011), (2013).
Administración de recursos hídricos a nivel de secciones (o tramos) de ríos y no de cuencas	Brzovic, (1998).
Interferencias e entre el uso de las aguas subterráneas y superficiales	Brzovic, (1998).
Administración independiente de los aspectos relativos a la calidad y a la cantidad de las aguas	Stehr, y otros, (2019); Instituto de Ingenieros, (2017); Brzovic, (1998).
Gestión independiente de aguas continentales y aguas marinas	Stehr <i>et al.</i> , (2019).
Gestión independiente del suelo y del ambiente	Stehr <i>et al.</i> , (2019).

ADMINISTRACIÓN	
Principales Problemas	Fuentes
Falta de mecanismos en funciones relacionadas a los aspectos cualitativos del agua	Banco Mundial, (2013)
La autoridad de aguas no promueve ni aprueba normas de calidad ambiental y de emisión, así como los planes de prevención y de descontaminación que puedan derivarse de las mismas	Banco Mundial, (2013).
Uso del recurso hídrico para fines sectoriales	Instituto de Ingenieros, (2017); Banco Mundial, (2013).
Pérdida de eficiencia debido a la ausencia de un escenario adecuado para el desarrollo de iniciativas de uso múltiple	Banco Mundial, (2013); Brzovic, (1998)

Tabla 25. Problemas de la información a través de las institucionalidades chilenas.

INFORMACIÓN	
Principales Problemas	Fuentes
Falta de consolidación e integración de la data generada por los distintos organismos	Stehr, <i>et al.</i> , (2019), OCDE, (2017); Instituto de Ingenieros, (2011), (2012), (2017); Banco Mundial, (2011), (2013);
Falta de mecanismos de diseminación de información relevante en la gestión de recursos hídricos a nivel de cuenca	Stehr <i>et al.</i> , (2019) OCDE, (2017); Instituto de Ingenieros, (2011), (2012), (2017); Banco Mundial, (2013).
Problemas en la generación de información relevante asociada a la gestión de recursos hídricos	Banco Mundial, (2013); Brzovic, (1998).
Discontinuidad en la recopilación de datos hidrometeorológicos, aguas superficiales, subterráneas y calidad de aguas	OCDE, (2017); Instituto de Ingenieros, (2011), (2012), (2017); Banco Mundial, (2013).
Insuficiente cobertura espacial de Red Hidrométrica Nacional	OCDE, (2017); Instituto de Ingenieros, (2011), (2012), (2017); Banco Mundial, (2013).
Ausencia de información o falta de mecanismos para la obtención de consumos y extracciones de agua en las cuencas	Stehr <i>et al.</i> , (2019).

INFORMACIÓN	
Principales Problemas	Fuentes
Falta de capacidades para la predicción del clima y monitoreo de la evolución del balance hídrico	Stehr <i>et al.</i> , (2019).
Falta de sistemas de información para el seguimiento eficaz de las tareas de formulación y monitoreo de la política y los Planes de Gestión de los Recursos Hídricos (a nivel nacional y de cuencas)	OCDE, (2017); Instituto de Ingenieros, (2011), (2012), (2017); Banco Mundial, (2013).
Problemas de información ligados al mercado de derechos	Brzovic, (1998).
Información limitada y asimétrica a nivel de agentes sobre aspectos relevantes para las transacciones que ocurren en el mercado del agua	Brzovic, (1998).
Falta de conocimiento de los derechos existentes y sus características.	Brzovic, (1998).

Tabla 26. Problemas de la participación de las institucionalidades y comités chilenos.

PARTICIPACIÓN	
Principales Problemas	Fuentes
Centralización de la toma de decisiones	Newenko, (2021).
Falta de participación pública en la toma de decisiones y la definición de los territorios	OCDE, (2017); Instituto de Ingenieros, (2011), (2012), (2017); Banco Mundial, (2013).
Problemas en el desarrollo de instrumentos participativos para la gestión del agua	Banco Mundial, (2013).
Limitaciones en cuanto a la composición, funciones y capacidades de las Organizaciones de Usuarios como instancias de participación, y a su representatividad en el ámbito ampliado de la cuenca	Brzovic, (1998).
Participación desequilibrada de los usuarios en las juntas de vigilancia	Brzovic, (1998).

Tabla 27. Problemas en la fiscalización y financiación de las institucionalidades y comités chilenos.

FISCALIZACIÓN Y FINANCIACIÓN	
Principales Problemas	Fuentes
Falta de presupuesto, atribuciones para el cumplimiento de labores de fiscalización y control.	Banco Mundial, (2013).
Presupuesto acotado en materia de recursos hídricos	Stehr <i>et al.</i> , (2019); Banco Mundial, (2013).
Competencia presupuestaria entre diversas instituciones involucradas en la gestión de recursos hídricos	Instituto de Ingenieros, (2011).
Insuficiencia y variabilidad del presupuesto	Instituto de Ingenieros, (2011).
Dificultades para implementar mecanismos propios de recaudación adicionales a las asignaciones presupuestarias que contribuyan a una mayor autonomía y efectividad	Instituto de Ingenieros, (2011); Banco Mundial, (2013).
Fiscalización de la aplicación de políticas y planes bajo un mando único dentro de la Institucionalidad de Recursos Hídricos a nivel nacional y de cuencas	Banco Mundial, (2013).

Tabla 28. Problemas en la educación, generación de capacidades y rendición de cuentas de las institucionalidades y comités chilenos.

EDUCACIÓN, GENERACIÓN DE CAPACIDADES Y RENDICIÓN DE CUENTAS	
Principales Problemas	Fuentes
Baja prioridad de la educación hídrica	Newenko, (2021).
Ausencia formativa, general y específica, así como programas para la ciudadanía	Newenko, (2021).
Insuficiencia de recursos humanos en términos de calidad y cantidad	Banco Mundial, (2013).
Escasez de oportunidades de carrera profesional asociadas al sector	Banco Mundial, (2013).
Inestabilidad laboral por mecanismos temporales de contratación y sin incentivos suficientes	Banco Mundial, (2013).

EDUCACIÓN, GENERACIÓN DE CAPACIDADES Y RENDICIÓN DE CUENTAS	
Principales Problemas	Fuentes
Debilidades de mecanismos para la resolución de conflictos previo a su judicialización	Stehr, y otros, (2019); Banco Mundial, (2013); Brzovic, (1998).
Falta de mecanismos de rendición de cuentas	OCDE, (2017); Banco Mundial, (2013).
Criterios y estándares insuficientes y dispares de benchmarking para el monitoreo y seguimiento de políticas y planes en torno a la gestión de recursos hídricos (presupuestaria, KPI's)	Banco Mundial, (2013).

2.5. Comités de los Sistemas Sanitarios Rurales

Los Comités de los Sistemas Sanitarios Rurales son organizaciones comunitarias las cuales están administradas por la Ley de Juntas de Vecinos, bajo el Decreto N° 58, de 1997, y La ley N° 19.418 y demás organizaciones comunitarias del Ministerio del Interior (Latinno, s. f.). Estos Comités son responsables de operar las plantas y sus procesos de ingeniería, además de asegurar un abastecimiento a la población rural del servicio de agua potable en cantidad, calidad y continuidad.

La Asamblea es la principal autoridad del Comité y está constituida por la reunión del conjunto de sus afiliados. Los Comités no persiguen fines de lucro, gozan de personalidad jurídica y sus miembros ingresan y participan de forma voluntaria, personal e indelegable, por lo cual nadie puede ser obligado a pertenecer a ella, ni impedido de retirarse de la misma (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

Para operar los Servicios Sanitarios Rurales y autorizar al titular como único prestador del SSR, el MOP tiene que otorgar una licencia a los comités de Servicios Sanitarios Rurales. Esta licencia tiene un plazo indefinido, no obstante, se requiere una evaluación de cumplimiento de los requisitos de la ley a la subdirección lo que se realiza cada cinco años (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

Los Servicios Sanitarios Rurales comprenden 4 etapas: producción de agua potable, distribución de agua potable, recolección de aguas servidas y tratamiento y disposición final de aguas servidas tratadas y la licencia se otorga conjuntamente para las 4 etapas.

Las licencias otorgan el derecho a usar gratuitamente bienes nacionales de uso público (calles y espacios públicos) y a imponer la constitución de servidumbres (gravamen de un terreno en beneficio de otro terreno). El operador podrá construir o instalar infraestructura de servicios sanitarios rurales, siempre que no se altere, en forma permanente, la naturaleza y finalidad de éstos (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

Hay dos tipos de sistemas sanitarios (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022):

- **Primario:** En este servicio se tienen en cuenta la prestación de agua potable y saneamiento a las comunidades y zonas rurales para uso doméstico. Entendiéndose el uso doméstico al destinado al consumo familiar o pequeñas actividades comerciales o artesanales.
- **Secundario:** Esta prestación de servicios de agua potable y saneamiento que sobrepase el uso doméstico y cuya prestación sólo procede cuando el operador garantiza la cobertura del servicio sanitario rural primario.

Como hemos comentado antes, se ha creado la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales, al cual le corresponde recibir solicitudes de licencia, efectuar estudios, gestión comunitaria, inversiones de agua potable, inversiones de saneamiento, proyectos de agua potable, proyectos de saneamiento y llevar el registro de los operadores (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022). Las funciones de la subdirección son las siguientes:

Tabla 29. Funciones Subdirección.

FUNCIONES SUBDIRECCIÓN
Ejecutar la política de asistencia y promoción conforme lo instruido por el Ministro de Obras Públicas
Administrar el Registro de operadores
Elaborar la clasificación de los operadores y proponer el aporte financiero del Estado
Asesorar a los operadores, directamente o a través de terceros, conforme al registro que será determinado en el reglamento
Formular proyectos de servicios sanitarios rurales y evaluarlos económica, técnica y socialmente, directamente o a través de terceros debidamente inscritos en el registro que se llevará para estos efectos
Contratar la inversión sectorial y actuar como unidad técnica para la contratación de la inversión de los gobiernos regionales u otras instituciones públicas en materias relacionadas con servicios sanitarios rurales
Revisar, previa consulta a la Superintendencia, el plan de inversión, cuando corresponda
Pedir informes y auditar la contabilidad de las licenciatarias, cuando corresponda
Aprobar, directamente o a través de terceros, la puesta en operación de las obras de cada operador, sin perjuicio de las atribuciones de la autoridad sanitaria
Solicitar el ejercicio de las facultades de supervisión o de fiscalización al Departamento de Cooperativas, a la Superintendencia, o al Ministerio de Salud, cuando correspondiere
Visar técnicamente los proyectos respecto de las etapas del servicio sanitario rural, sus ampliaciones y modificaciones, sin perjuicio de las atribuciones de la autoridad sanitaria
Apoyar, asistir y asesorar a los operadores de servicios sanitarios rurales en la gestión comunitaria directamente o a través de terceros debidamente inscritos
Estudiar, aprobar e informar al Ministerio las solicitudes de expropiaciones de bienes inmuebles y derechos de aguas requeridos para la prestación de los servicios sanitarios rurales
Comprar o adquirir bienes inmuebles y derechos de aprovechamiento de aguas, ya sea con fondos del Estado o con aportes de los operadores o beneficiados, para la prestación de los servicios sanitarios rurales
Las demás que la ley le asigne

Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2022).

Al igual que la subdirección, los operadores tienen ciertas obligaciones y derechos:

Tabla 30. Obligaciones y derechos de los operadores.

OPERADORES	
OBLIGACIONES	DERECHOS
Prestar los servicios sanitarios a los usuarios, en la medida que sea técnica y económicamente factible	Cobrar, por las etapas del servicio sanitario rural prestadas
Garantizar la continuidad del servicio entregado	Cobrar reajustes e intereses legales por las cuentas cuando corresponda
Mantener el nivel de calidad en la atención de usuarios y prestación del servicio	Cobrar los costos de cobranza extrajudicial en que haya incurrido el operador
Prestar y operar los servicios sanitarios rurales, dando estricto cumplimiento a las obligaciones, restricciones y prohibiciones establecidas en la ley y su reglamento, en la normativa sanitaria y ambiental, y en las demás normas y disposiciones legales, reglamentarias y administrativas vigentes	Suspender, previo aviso de treinta días, los servicios a usuarios que adeuden el pago de una o más boletas o facturas y cobrar el costo de la suspensión y de la reposición correspondiente
Cumplir las instrucciones que impartan las autoridades competentes	
Permitir el acceso a las instalaciones del personal del Ministerio, de la Dirección General de Aguas, Subdirección, Superintendencia y autoridad sanitaria, para el ejercicio de sus atribuciones	Suspender el servicio a los usuarios de servicio sanitario rural primario que destinen el agua a un fin distinto
Efectuar un correcto uso de los fondos y bienes de la organización	

Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2022).

El operador de distribución cobrará en una cuenta única y recaudará de los usuarios el valor de las prestaciones. Los Servicios Sanitarios Rurales estarán sujetos a las normas sobre fijación de tarifas y demás cobros de agua potable y saneamiento que establece la ley y su reglamento. Se tomará como base la situación particular de cada operador y se considerará para el cálculo tarifario cada una de las etapas del servicio sanitario rural (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

Las tarifas siempre deberán permitir recuperar, a lo menos, los costos indispensables de operación. Adicionalmente podrán incorporar otros costos asociados a mantención y reposición de activos, dependiendo del tipo de operador. Las tarifas podrán prorrogarse por cinco años en virtud de un acuerdo entre el operador y la Superintendencia cuando no existan cambios relevantes en los supuestos adoptados para el cálculo tarifario. Ese acuerdo se debe suscribir con una anticipación no inferior a doce meses anteriores al término del período de vigencia de las tarifas (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

2.5.1. Tecnologías usadas en los SSR de Chile

Por otra parte, para las zonas rurales o descentralizadas en general, existen un poco más de 550 sistemas de tratamiento de tipo descentralizado instalados (Subdere, 2012). En la gráfica se muestra que al igual que en las zonas urbanas chilenas, la tecnología de lodos activados es la más empleada, con una proporción de participación superior a 70%. También se muestra que cerca de 19% de las plantas de zonas rurales usa tecnologías de tratamiento secundario y sólo un 9% emplea tecnología de tratamiento primario, como fosas sépticas.

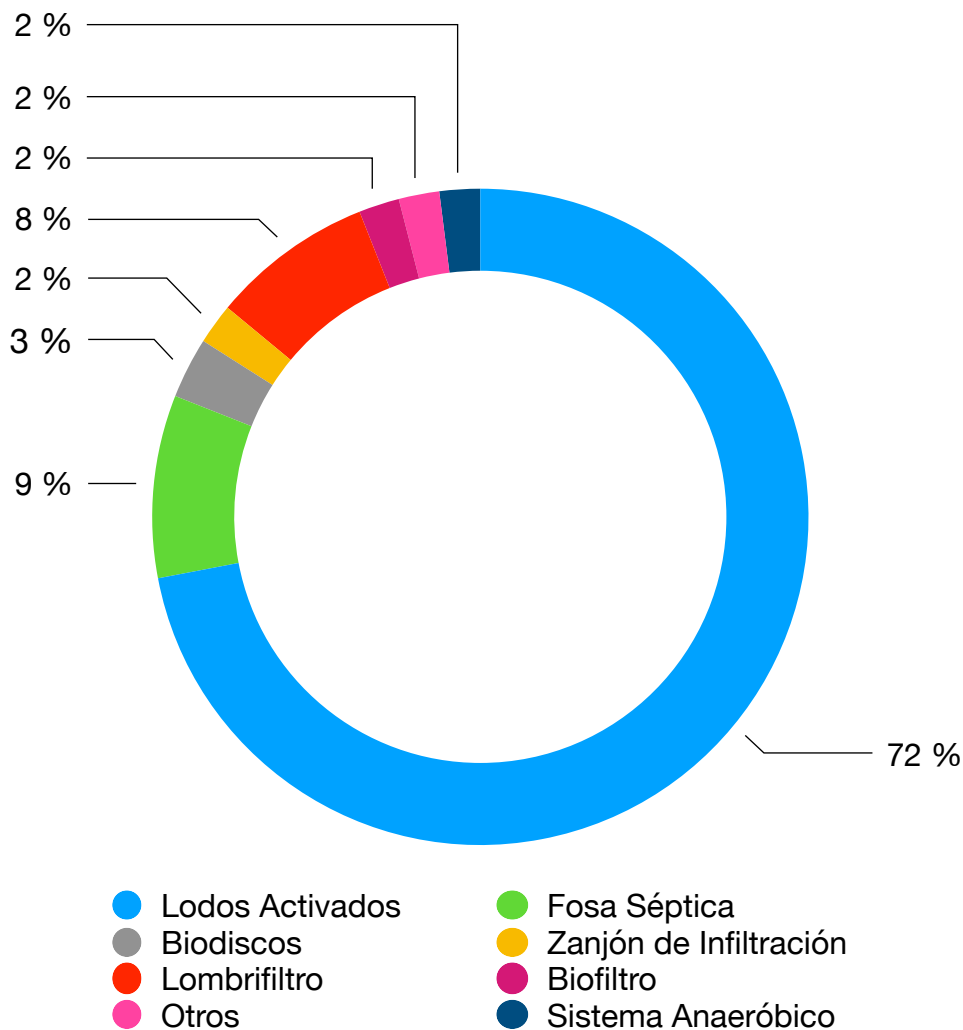


Figura 15. Participación porcentual de tecnologías de tratamiento aplicada en las PTAS en Chile en zonas rurales. Fuente: A partir de SISS (2013) y Subdere (2012).

A pesar de la gran cantidad de plantas de tratamientos de aguas residuales descentralizadas, se ha estimado que en Chile, máximo un 20% se trata de las aguas servidas producidas en las zonas rurales (Casen, 2009). Esta situación sería similar e incluso mejor a la presente en otros países en vías de desarrollo. Además, existe escasa información de su funcionamiento (Rodríguez, 2012). Evaluando las plantas de tratamiento de zonas rurales se concluye que la mayoría de ellas funciona de manera inadecuada desde el punto de vista de la sostenibilidad económica y de cumplimiento de normativa vigente. Además, plantea la necesidad

de implementar tecnologías alternativas a los lodos activados, como puede ser el caso de los lombrifiltros (Vera-Puerto *et al.*, 2016).

2.5.1.1. Lombrifiltros

El Biofiltro o más conocido como Lombrifiltro, es un sistema de tratamiento biológico de cultivo fijo, en base a lombrices y bacterias combinado con diferentes materiales filtrantes. El efluente, aguas servidas o residuos líquidos orgánicos, es rociado en la superficie del Biofiltro y escurre por el medio filtrante quedando retenida la materia orgánica, la cual es consumida por las lombrices, oxidándola y degradándola (Fundación Chile, s. f.).

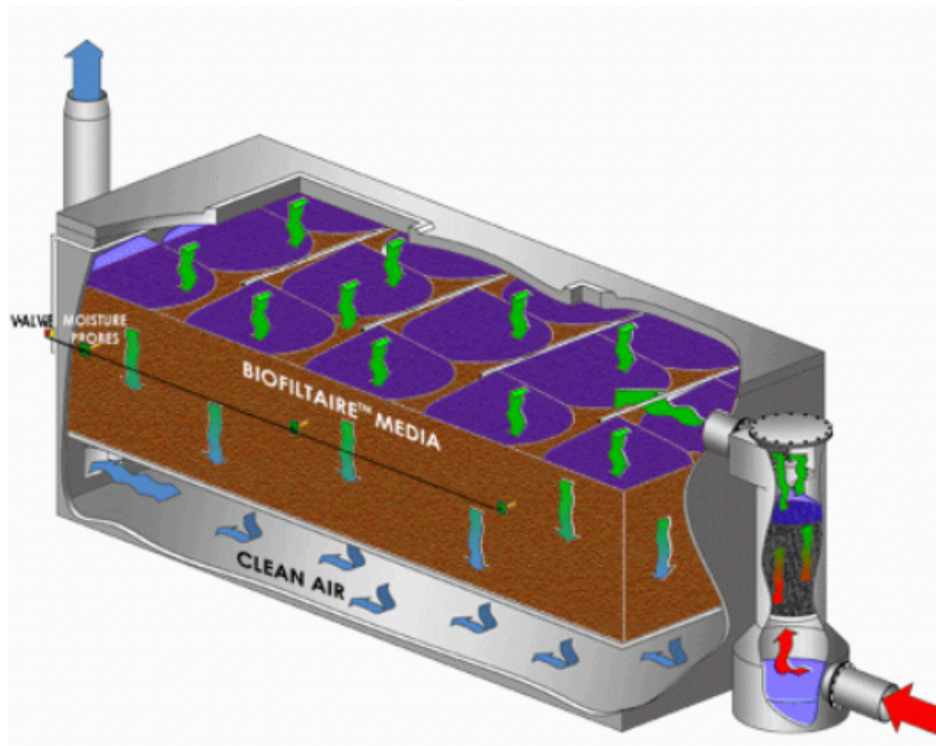


Figura 16. Funcionamiento planta lombrifiltros. Fuente: Fundación Chile, s. f.

Los lombrifiltros se caracterizan por su sencillez de tratamiento y su independencia de tratamientos previos, así como la no necesidad de adicionar nutrientes, coagulantes, floculantes u otro aditivo. Solo requiere que el afluente llegue con características tales que permita la existencia de organismos vivos, entre ellos pH no inferior a 4,5 y no mayor a 8. Los Lombrifiltros pueden ser considerados como el único sistema de tratamiento de riles y aguas servidas que proporciona un ingreso, esto por la generación de lombrices, humus y agua, los que tienen un valor en el mercado (Fundación Chile, s. f.).

Tabla 31. Eficiencia del sistema de lombrifiltros.

PARÁMETROS	EFICIENCIA DE ELIMINACIÓN
Coliformes Fecales	99 %
DBO₅	95 %
Sólidos Suspendidos Totales	95 %
Sólidos Suspendidos Volátiles	93 %
Nitrógeno Total	60 a 80%
Aceites y Grasas:	80 %
Fósforo Total	60 %

Fuente: Fundación Chile, s. f.

Tabla 32. Ventajas y desventajas del sistema de lombrifiltros.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Sistema ecológico que permite el reuso de las aguas tratadas	Requiere de grandes volúmenes de reactor para su implementación
Produce lodos estables que pueden ser utilizado como abono natural	No resiste periodos sin alimentación - Necesidad de suministrar nutrientes
Alta eficiencia en el tratamiento de sólidos y líquidos orgánicos	Requiere de un proceso de adaptación - Arranque complejo
Genera una fuente rica en proteínas que puede ser usada para alimentación animal	No soporta variaciones grandes de carga ni caudal
Bajos costos de operación, mantención y limpieza	
No requiere suministro de oxígeno, el diseño contempla la aireación natural	No es recomendable para tratar grandes volúmenes de efluente
No requiere usuarios expertos	

Fuente: Fundación Chile, s. f.



Figura 17. Planta lombrifiltros región del Biobío. Fuente: elaboración propia.

2.5.2 Problemas surgidos en el tratamiento de aguas residuales y la gestión de los SSR

En el siguiente apartado se enumeran y explican los principales impedimentos que encontramos para una gestión y gobernanza de las aguas residuales en las zonas rurales chilenas, exponiendo los principales problemas de los Sistemas Sanitarios Rurales.

■ Ausencia de capacidad en materia de gestión y mantenimiento de las plantas

Se ha demostrado a lo largo de los años que tanto las cooperativas como los comités de los servicios sanitarios rurales tienen cierta capacidad para la gestión y mantenimiento de las plantas de aguas servidas a través de los operadores y los servicios externos involucrados. No obstante, estos comités no tienen medios para el tratamiento de la planta en el ámbito del registro de información, control y mantenimiento de los equipos e instrumentos, y un monitoreo y registro permanente de la calidad del afluente y variables de control para poder practicar las medidas de corrección de forma viable (Ministerio de Obras Públicas, 2019b).

■ Falta de información en la calidad del agua

En la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas no se puede lograr obtener información sobre la calidad del efluente. Este dato es fundamental para valorar la eficiencia de la planta y poder comprobar que se está llevando a cabo un cumplimiento correcto de las normas vigentes.

Sin tener estos tipos de datos, no podemos garantizar que el afluente que llega a los ríos, esteros o canales está afectando a la calidad de las aguas del cuerpo receptor. Este incumplimiento de las normas puede llegar a suponer sanciones legales a los titulares de las cooperativas y comités, con posibles implicaciones judiciales (Ministerio de Obras Públicas, 2019b).

■ Falta de participación y colaboración en los comités

Uno de los principales problemas surgidos en la gestión de los SSR por parte de los comités es la falta de participación y colaboración en los mismos y en las tareas de los SSR. Uno de los hechos que reflejan este problema es la poca variación en las directivas de los comités, en los que se van cambiando rotativamente los cargos y no hay variación de personas en los mismos (Fundación Amulén, 2021).

Estos comités en la mayoría de los casos están compuestos por personas de tercera edad sin ningún tipo de formación al respecto. Esto hace que en muchos casos no comprendan el sentido de los SSR o las funciones de las directivas.

■ Ausencia de formación y apoyo profesional a los comités

Es importante para el mantenimiento y gestión de las plantas tener una figura que forme, apoye y controle los procesos en las plantas. Se necesitan profesionales especializados en el campo de tratamiento de aguas que puedan enseñar y permitan a los operarios entender los procesos que ocurren en el interior de las plantas. Esta formación permitirá que los operarios sepan actuar ante los conflictos e inconvenientes que pueda presentar la planta (presencia de filamentosas, aumentos de los caudales, etc.) y así asegurar el cumplimiento de las normas en la calidad del efluente (Ministerio de Obras Públicas, 2019b).

Un 70,6% de los SSR con alcantarillados encuestados acusan no recibir asesorías continuas para la administración y operación de la planta de tratamiento (Fundación Amulén, 2021). En muchos SSR el sistema fue construido externamente y sólo se hacen cargo de su operación.

Es la DOH quien tiene la obligación de supervisar la política, asistencia técnica, supervisión de los operadores directores de los servicios sanitarios rurales. Por ello es muy importante que sean ellos quienes a nivel regional cuente con este personal experto en procesos de tratamiento y gestión de aguas residuales (Ministerio de Obras Públicas, 2019b).

Se puede comprobar por el mal tratamiento en muchas de las plantas, que se necesita la creación de un comité de operadores cualificados a nivel nacional, para el control de estas plantas.

■ **Deterioro de las redes de distribución**

El mal estado de las redes de distribución y la reparación casi continua de las tuberías afecta enormemente a la gestión de las plantas y al acceso de agua potable de los consumidores. Uno de los problemas es el distinto diámetro y fugas de las tuberías que afecta ocasiona directamente falta de presión. La fugas y las rupturas que se causan son debidas a la antigüedad de las construcciones. En la mayoría de los casos las fugas son muy difíciles de identificar debido a la humedad del suelo o las largas distancias de las mismas, haciendo que sea un trabajo casi imposible identificarlas y determinar la fuente de pérdida. Estos daños generan unos costes que en gran parte de los casos las cooperativas no pueden asumir (Fundación Amulén, 2021).

Otro gran problema debido a las fugas y roturas, es la contaminación directa al suelo que se produce, ya que el agua residual entra en contacto directo con el medio sin tratar.

■ **Cortes en los suministros eléctricos**

El siguiente problema de gran importancia son los continuos cortes de electricidad que muchas comunidades sufren, muchas veces debidos a un problema en la asimetría de la fase y la diferencia de voltajes. Esto produce un corte del servicio en el tratamiento de las plantas, las cuales no cuentan con ningún tipo de generador, haciendo que en muchos casos se puedan producir daños en los equipos (Fundación Amulén, 2021).

■ **Alta variabilidad en las tarifas**

En el servicio de alcantarillado y gestión de las plantas existe una alta variabilidad de tarifas, al igual que el agua potable, por lo que es necesario realizar estudios tarifarios para determinar los valores óptimos. Este estudio es sumamente necesario ya que en muchos SSR las tarifas generadas y el dinero recaudado a través de las boletas no es suficiente para mantener los grandes gastos operacionales de las plantas (Fundación Amulén, 2021).

En muchos casos estos problemas vienen desde la construcción de la planta de tratamiento que no se han podido solucionar. Por los altos costos operacionales, especialmente la electricidad, no hay una opción para poder costear las nuevas inversiones necesarias o el mantenimiento o roturas de las plantas (Fundación Amulén, 2021). Por supuesto al no poder financiar las mejoras tampoco se puede

invertir en la contratación de nuevos operarios, haciendo que las plantas no lleguen al nivel óptimo de tratamiento.

■ **Problemática en la lombricultura**

Una de las principales ventajas de la lombrifiltros es que este proceso no requiere el tratamiento de lodos. No obstante este tipo de tratamiento necesita una constante supervisión, operación y mantenimiento. En la mayoría de los casos esta supervisión y mantenimiento no se realiza (Ministerio de Obras Públicas, 2019b).

Se necesita de una unidad de tamizado para retener sólidos que pudiesen cubrir los aspersores que reparten el agua. Además en muchos casos se necesita una unidad de regulación del caudal antes de los lombrifiltros. Si se incorpora esta componente, debe tener un volumen suficiente para regular del orden de 8 a 12 hrs del caudal y agitación con una densidad de energía del orden de 7 watt/m³ para asegurar la mezcla completa y evitar la sedimentación que daría origen a descomposición de la materia orgánica y problemas ambientales. No se recomienda su aplicación para poblaciones superiores a 2.500 habitantes equivalentes debido a la dificultad operativa que significa el volteo periódico de la viruta que conforma el lecho de las lombrices, y especialmente su reemplazo anual. Debe considerarse un diseño modular en la planta de tratamiento, que permita realizar estas operaciones sin detener el flujo de agua (Ministerio de Obras Públicas, 2019b).

■ **Falta de transparencia e información pública**

La información publicada sobre estos sistemas es casi nula, haciendo que la transparencia sobre la gestión de estos programas sea muy escasa. Es necesario una publicación de los tipos de tecnologías, gestión o valores se están usando en los diferentes comités.

3. Estudio comparativo

3.1. Tabla comparativa

Tabla 32. Diferencias entre la gestión de las aguas residuales en España y Chile.

	CHILE	ESPAÑA
POBLACIÓN RURAL	11,4 %	15,9 %
INSTITUCIONALIDAD	Gubernamental	Marco Europeo
MODELO DE GESTIÓN	Centralizado	Descentralizado a Gobiernos regionales
PLANIFICACIÓN Y CONTROL	Unidad técnica - Empresas sanitarias de la región - contratadas por la DOH	Comunidades Autónomas
GESTIÓN	Cooperativas y comités de aguas potable rural	Provincias, municipios y mancomunidades
FINANCIACIÓN	Fondos nacionales de desarrollo regional	Fondos del estado, diputaciones provinciales y mancomunidades
TECNOLOGÍAS MÁS USADAS	Lodos activos	Aireación prolongada
TARIFAS	Sin fiscalización - cuotas sociales	Municipios y comunidades autónomas

Fuente: Elaboración propia

3.2. Posibles mejoras de la gobernanza de las aguas servidas en Chile

Según ECODES (2021) hay varias alternativas para la ayuda a pequeña escala de la depuración y gestión del agua en los Sistemas Sanitario Rurales. Estos procesos ayudarán a la mejora de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y su gestión.

■ Desarrollo de infraestructuras para el acceso de agua potable y tratamiento de aguas servidas universal y continuo

El punto más importante de mejora es reducir o eliminar la brecha existente entre las zonas rurales y las zonas urbanas. Es necesario la creación de un sistema que accesible a todos los ciudadanos de las zonas rurales. Creando una red para el abastecimiento de agua y su posterior tratamiento en plantas residuales rurales.

■ Desarrollar un sistema tarifario común

Creación de un sistema tarifario universal, en el que se crea una tarifa unitaria para los beneficiarios y no se base en la aportación voluntaria y social de las comunidades implicadas en los SSR. Una tarifa calculada técnicamente y fija es fundamental para el desarrollo sostenible de las plantas.

■ Reutilización de agua en las zonas rurales

Como se hablado anteriormente en muchos de los casos de la depuración de las aguas servidas o residuales en las zonas rurales, los principales problemas son la falta de personal especializado y de fondos para poder llevar a cabo un correcto uso de las planta. En muchos casos tratadas por personal voluntario sin ningún tipo de formación sobre el tratamiento de aguas residuales.

Con el problema de la escasez hídrica que actualmente afecta a Chile, en muchos casos las zonas más despobladas coinciden con las zonas más áridas, por lo que es muy importante la estrategia de reutilización. En la mayoría de los casos las aguas son vertidas directamente a ríos y acuíferos. Un sistema de reutilización suele llevar implicado un sistema de tratamiento terciario que en la mayoría de los casos no se llevan a cabo. Por estos motivos habría que concienciar a la población para poder disminuir la carga de contaminantes que llegan a través del agua a las planta de depuración.

El mayor foco de contaminante en un hogar es la cocina. Un contaminante principal que aumenta la carga contaminante en las plantas es el fósforo. Este fósforo suele provenir del uso de detergentes, que al tener alto contenido en fósforo favorece el proceso de eutrofización.

Otra alta carga contaminante son las grasas que se utilizan en la cocina y los restos orgánicos procedentes de las sobras del cocinado. Las grasas y aceites utilizados en la cocina son altamente contaminantes, por lo que no deben llegar a la red de alcantarillado y guardarse en recipientes para poder ser llevados a un punto limpio. Estas grasas pueden producir daños en el tratamiento de las plantas depuradoras, ya que pueden producir incrustaciones en las tuberías.

Por otro lado la materia orgánica procedente de los restos de comida, deberán ser tiradas al contenedor, para un procesamiento correcto de los mismos.

Para poder llevar a cabo estas medidas, un punto muy importante es la concienciación y educación ambiental en los colectivos rurales. Para ellos sería

preciso la creación de un programa en el que se informe de los problemas medioambientales acarreados por un incorrecto uso del alcantarillado.

■ Sistemas de recogida de aguas de lluvia

La recogida de aguas pluviales se puede realizar a través de las cubiertas de los edificios o casas, utilizando captadores que permitan la entrada del agua de lluvia. Estos captadores deberán contener un filtro que impida la entrada de partículas no deseadas. Este agua pluvial llegará a un depósito a través de canalones. El tamaño del depósito dependerá del uso del agua, pluviometría de la zona y del espacio posible.

Este agua pluvial será utilizado en actividades que no impliquen unos estándares de calidad de uso humano, como pueden ser uso de lavadoras, inodoros, lavado de suelos o riego. Como estas aguas suelen ser más blandas (menos concentración de carbonatos), permite que el uso de detergentes sea mucho menor, llegando menos contaminantes fosfatados a las plantas de depuración.

Una iniciativa que esta empezando en Chile para la recogida y uso del agua de lluvia para su posterior reutilización es www.cosechaagualluvia.cl. Como no hay una normativa vigente al respecto todavía el proyecto está en su fase inicial.

■ Sistemas de reutilización de aguas grises

Las aguas grises son aguas generadas en actividades como uso de lavadoras, uso de lavabos o duchas. Las aguas grises pueden suponer entre el 50% y el 80% de las aguas residuales generadas en un hogar. Estas aguas se diferencian de las aguas negras ya que no contienen materia orgánica de origen humano.

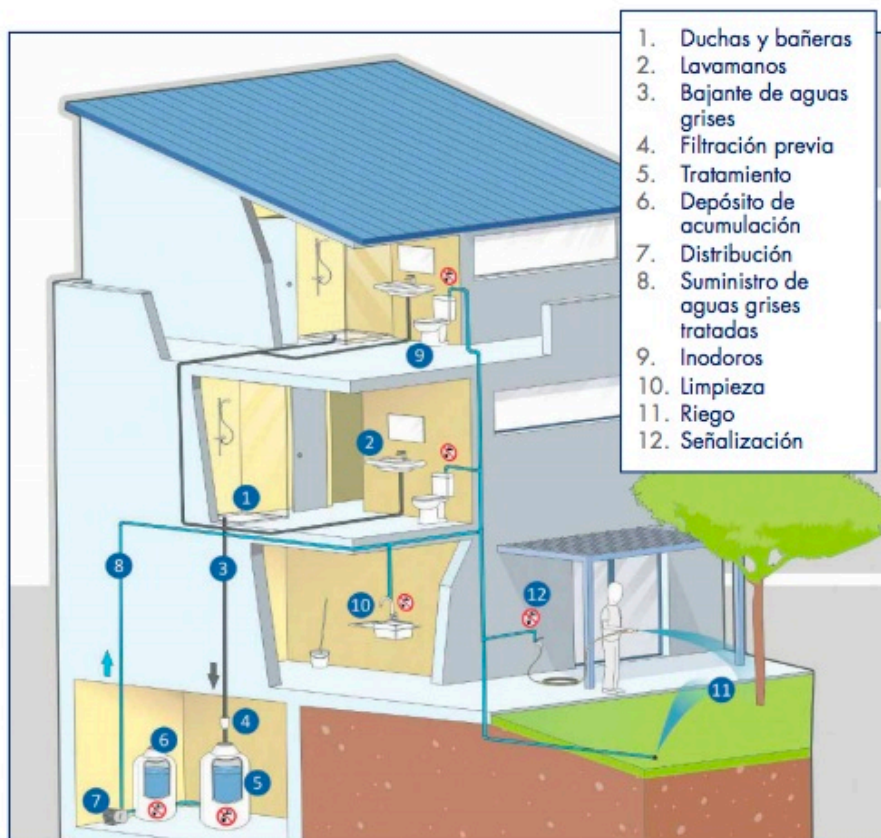


Figura 18. Sistema de reutilización de aguas grises. Fuente: ECODES (2021).

Una opción para el aprovechamiento de estas aguas es un sistema de recolección en el que se separen las aguas residuales de los hogares, ya que así se las aguas grises podrán ser reutilizadas y tratadas en los propios hogares.

Con este método se puede disminuir el uso del agua potable entre un 16% y un 40% y pudiendo utilizar este tipo de agua en actividades que no requieren alcanzar niveles de calidad autor para el consumo humano. Como hemos hablado en el apartado anterior esas actividades pueden ser lavar la ropa, la cisterna del inodoro o riego del jardín.

Acercas del tratamiento de estas aguas grises hay diferentes posibilidades como tratamientos biológicos, físicos o físico-químicos. Otra posibilidad también es el rehuso de las aguas grises de forma directa, sin tratamiento previo y con ausencia o mínimo almacenaje, ya que el almacenaje máximo recomendado de estas aguas grises es de 24 horas. La selección del tratamiento depende de las características del agua gris utilizada y del uso posterior que se vaya a hacer de estas aguas. Por estos motivos, de gestión de las aguas grises, es muy importante la implementación de la ley 21.075.

■ **Gestión holística y circular para ahorrar agua y energía**

La gestión del agua debería tener una visión holística, es decir, que el sistema se analicen como un todo. De este modo las plantas de tratamientos de aguas residuales revalorizan los residuos a la vez que los devuelven al medio. Con este tipo de gestión se crearía también el ciclo del fósforo y del nitrógeno empleándose como abono.

■ **Desarrollar medidas específicas para hacer frente a los contaminantes emergentes**

Si se busca reutilizar el agua residual es necesario tener en cuenta la problemática causada por los contaminantes emergentes, los cuales provienen principalmente del uso de productos de cuidado y de higiene personal y del consumo de fármacos. Debido a su impacto en el medio y a su capacidad de ocasionar alteraciones endocrinas, es necesario desarrollar nuevos métodos y tecnologías de degradación.

■ **Digitalización para el uso eficiente del agua y la energía**

Uno de los puntos que podrían ayudar a la mejora de la gestión en el ámbito de las aguas residuales sería la digitalización de las plantas. Una digitalización de las plantas nos permitiría conseguir de manera rápida y exacta los datos de la planta. Al tener de forma precisa e instantánea esos datos, nos permitiría solventar los problemas de forma inmediata, haciendo que se cumpla la normativa y optimizando los usos de la propia planta.

■ **Creación de una base de datos de los SSR**

La falta de información sobre estos sistemas es evidente. La creación de una base de datos que recoja la información de las plantas puede ayudar a la unificación del sistema, creando una red que permita a los comités comunicarse entre ellos y aportar soluciones a los diferentes problemas que puedan surgir en las plantas.

■ **Buen dimensionamiento y diseño de las depuradoras**

Uno de los errores más comunes y que impiden desde el principio el buen funcionamiento de las plantas es un erróneo diseño de las plantas depuradoras. Estos errores llevan a una errónea gestión, operación y mantenimiento:

- **Realizar estudios previos rigurosos.** Durante los estudios previos a la construcción de la planta o de la instalación de la tecnología de depuración, es necesario asegurar un correcto diseño de las instalaciones de tratamiento. Para ello, es necesario conocer cuál es la composición de las aguas residuales, el volumen de caudal actual, el crecimiento de este volumen que ocurrirá durante la vida útil de la planta de tratamiento, la disponibilidad de tener a personal operándolo y los costes de mantenimiento.
- **Separar las tuberías fecales de las tuberías pluviales.** Esta división producirá un alivio en las plantas depuradoras en época de lluvias. Además, el agua de lluvias puede reconducirse para usarse en la recarga de acuíferos o para un posible reúso de la misma.
- **Personalizar la solución de depuración.** Para poder realizar un correcto uso de la planta se necesita conocer las características de cada zona de depuración, así pudiendo adaptarse a las necesidades de cada zona. De esta forma se evitarán problemas de crecimientos estacionales de la población no prevista, vertidos industriales a la red de alcantarillado no detectados previamente, proximidad a zonas habitadas, etc. Como regla general, las plantas se deben dimensionar con vistas a los a los siguientes 20-25 años.
- **Realizar muestreos en continuo.** A la hora de muestrear los vertidos en zonas rurales es necesario tener en cuenta que un muestreo puntual no es representativo del caudal. Las tecnologías que se apliquen en este rango poblacional deben ser capaces de absorber las fluctuaciones.
- **Asegurar el buen estado de la red de saneamiento.** Las pérdidas debidas a un defectuoso estado de las redes de saneamiento pueden generar contaminación en el medio. Por lo que es importante gestionar las pérdidas en la redes y hacer un adecuado mantenimiento en las mismas.
- **Controlar los parámetros en continuo.** Para el control de las estaciones de tratamiento la medición de caudales en continuo es imprescindible. La creación de una normativa que regule los sistemas de medición y control de los vertidos es necesario, obligando a instalar a la salida de las estaciones depuradoras un sistema de medida de los caudales de las aguas tratadas.
- **Asegurar el correcto mantenimiento.** Las plantas de pequeño tamaño deben diseñarse, construirse y explotarse con el mismo rigor que las de mayor tamaño. Ante la menor disponibilidad de fondos, muchos comités descuidan el mantenimiento de sus estaciones depuradoras.
- **Diseño de forma rigurosa.** El diseño y la construcción deben ser muy rigurosos, atendiendo a la demanda de la zona. Si tomamos como ejemplo el caso de los humedales artificiales, sus labores de mantenimiento se limitan prácticamente a la poda anual de la biomasa seca. Un humedal artificial es un ecosistema complejo, en el que se desarrollan procesos físicos, químicos y biológicos entrelazados

entre sí. Por esto, requieren de un diseño riguroso si se quieren alcanzar los objetivos de depuración previstos.

- **Reservar una partida monetaria para el mantenimiento y explotación.** Uno de los problemas más comunes en las estaciones depuradoras chilenas, es la falta de fondos para el mantenimiento de las planta, haciendo que en muchos casos no pueda ser operativa. Se necesitan fondos para la operación y mantenimiento, ya que sin los mismos una planta no puede funcionar correctamente.
- **Gestionar de forma adecuada los residuos.** Una incorrecta gestión de estos subproductos, llevan al fracaso a las instalaciones de tratamiento.

3.3. Implantación de mejoras a través del marco europeo

Si tenemos en cuenta un análisis económico y global de la prestación de servicios de los sistemas implementados en la unión europea y lo comparamos con los sistemas chileno, tenemos que tener en cuenta que el sistema chileno se tiene que enfrentar a una serie de desafíos en los próximos años (Vergès, 2010):

- Universalización a los accesos a agua potable, alcantarillados y plantas de aguas residuales. Este proceso llevará una gran inversión económica, ya que tendrá que hacer frentes a generar soluciones tecnológicas de acceso a los servicios.
- Protección del medio ambiente y la expansión del tratamiento de aguas residuales tanto en zonas rurales como en urbanas. Esto quiere decir que para poder llegar a los estándares y niveles de sofisticación de la unión europea, Chile tendrá que hacer frente a una nueva forma de gestionar las aguas residuales. Un ejemplo puede ser la implementación de tratamientos terciarios en las plantas de tratamiento de aguas residuales que conlleven la eliminación de nutrientes y otros contaminantes generados en el uso doméstico o en la agricultura moderna. Este proceso también implica una inyección económica incluso más importante que en la universalización de los accesos.
- Reducción del consumo de agua por habitante, debido al aumento de las tarifas, evitando un problema ya creado en Europa como es el sobredimensionamiento de las infraestructuras.

Teniendo en cuenta un contexto global, tenemos que entender que la deficiencia en los servicios no derivan simplemente de los problemas del sector de la gestión de aguas. Es muy importante entender que este problema es derivado de las desigualdades sociales y de las condiciones de desarrollo humano del país, problemas que en Europa se han resuelto hace años.

Un hecho que evidencia las desigualdades sociales y económicas es la diferencia entre zonas urbanas y zonas rurales. Una posible solución a zonas rurales que ya tengan sistemas creados de saneamiento es la generación de sistemas tarifarios de subsidios cruzados. Estos subsidios consisten en cobrar tarifas por debajo de los costos a un grupo de usuarios domésticos y tarifas por encima del costo a a otro grupo de usuarios como pueden ser industrias o comercios.

En zonas rurales que estén cerca de núcleo urbanos, una posibilidad de mejora es la extensión de las áreas de servicios.

En zonas rurales de bajos ingresos o muy alejadas de núcleos urbanos es necesario contar con subsidios públicos significativos. Este caso se ha realizado con éxito en la Unión Europea.

Hay que tener en cuenta que el aumento de los problemas ambientales que afectan a los recursos hídricos tiene un precio que hay que pagar para poder solucionarlo. Por lo que la concienciación y educación es una medida necesario a largo plazo.

Finalmente, la definición de normas comunes dentro de unidades económicas regionales, según el modelo de la Unión Europea, para alcanzar metas de servicio universal, eliminar distorsiones de competencia entre los países miembros y proteger el medioambiente, parece una referencia interesante, ya que favorece el proceso de unificación de la calidad de los servicios y la adopción de mejores prácticas dentro de la permanencia de diferentes estructuras y tradiciones nacionales.

4. Conclusiones

Un cambio drástico en la gobernanza del agua potable y las aguas residuales es necesario en el mundo rural chileno. Una compleja y destacada transformación es necesaria a través de la aplicación de la ley N° 20.998, cuyas directrices no han sido creadas ni han sido puestas en marcha aún. El principal punto de interés será la transformación de los SSR del país, sistemas administrados, subordinados y mantenidos por el Estado, sin ningún tipo de fiscalización, sanciones o controles vinculantes, fundamentadas en la intervención voluntaria de la comunidad, sin obligaciones y responsabilidades formales, gestionadas por personas sin ningún tipo de formación y con un financiamiento escaso e inestable, mediante una cuota social mayoritariamente deficitaria.

La universalización de los accesos a agua potable, redes de alcantarillado y planta de aguas residuales es un tema pendiente en el país, debido a las desigualdades sociales y al propio desarrollo del país. Un sistema de subsidios podría ser la solución para reducir estas diferencias.

Las recomendaciones finales para la mejora de los SSR son las siguientes:

- Transformación de los sistemas SSR, generando nuevos comités que tengan de deberes, responsabilidades y capacidad administrativa y legal.
- Creación de un sistema tarifario, que ayude a la autogestión, creando un sistema económicamente sostenible. Este sistema deberá tener una tarifa calculada técnicamente y determinada por los SISS. Creación de equipos que anualmente realicen auditorías, generando sanciones y multas si se reportan incumplimientos de las normativas vigentes.
- Creación de equipos especializados, dando paso a profesionales especializados en la gestión de las plantas, ya que actualmente se realiza a través de la participación de personas voluntarias de la comunidad. Fortaleciendo y profesionalizando los comités. Generando informe de costes e ingresos, datos para las futuras auditorías y realizando un buen mantenimiento y operación de las plantas.
- Necesidad de creación del marco jurídico y operacional que lleve a un uso sostenible de las estaciones de depuración.
- Implicación de los comités SSR en la generación y elaboración de la nueva ley.
- Avance en la depuración de las aguas, como el uso de tratamiento terciarios para la eliminación de contaminantes emergentes.
- Creación de una base de datos común.
- Implementación de la reutilización de las aguas residuales y de las aguas grises, para poder abordar el gran problema de escasez hídrica del país.

5. Bibliografía

- Ágora, El. (2020, 6 julio). ¿Quién es quién en la gestión del agua urbana en España? El Ágora Diario. <https://www.elagoradiario.com/agua/quien-es-quien-en-la-gestion-del-agua-urbana-en-espana/#%7E:text=Aunque%20no%20hay%20datos%20oficiales,un%2080%25%20en%20manos%20privadas>.
- Banco Mundial BM. (2011). Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. World Bank Document.
- Banco Mundial- BM. (2013). Chile: Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Unidad de Ambiente y Aguas, Departamento de Desarrollo Sostenible, Región para América Latina y el Caribe.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). Servicios sanitarios rurales. Ley Fácil - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - BCN. <https://www.bcn.cl/leyfacil/recurso/servicios-sanitarios-rurales>
- Bravo, M. B. (2011). Contexto legal: reutilización de aguas grises, SustentaBIT. 11a ed. Santiago, Chile: Cámara Chilena de la Construcción, pp. 34–38. <https://biblioteca.cchc.cl/datafiles/23333-2.pdf>.
- Brzovic, F. (1998). Situaciones de conflicto o problemas que pueden asociarse a la gestión actual de los recursos hídricos. Formulación de bases para planes directores de gestión integrada de recursos hídricos. Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile y Departamento de Planificación, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.
- Casanueva, A. (2021, 26 agosto). Normas de Emisión. Superintendencia Del Medio Ambiente. <https://portal.sma.gob.cl/index.php/portal-regulados/instructivos-y-guias/normas-de-emision/#:%7E:text=El%20decreto%20Supremo%20N%C2%B0,de%20dichos%20cuerpos%20de%20agua>.
- Casen (2009). Encuesta de caracterización socioeconómica nacional, vivienda, hogares por zona según región y eliminación de excretas. Caracterización Socioeconómica Nacional. Ministerio de Planificación, Gobierno de Chile. Recuperado de <http://www.mideplan.gob.cl/casen/Estadisticas/vivienda.html>.
- Ciper. (2017). El negocio de la sequía: el puñado de empresas de camiones aljibe, por Alverto Arellan. <https://www.ciperchile.cl/2017/03/21/el-negocio-de-la-sequia-el-punado-de-empresas-de-camiones-aljibe-que-se-reparte-92-mil-millones/>
- Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio. 2022. Plan Nacional de Desarrollo Rural (PNDR). <https://www.masvidarural.gob.cl/politica-nacional-de-desarrollo-rural-3/>
- Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio. (2021). Ruralidad en Chile - Conoce los datos rurales de todas las regiones. Más vida rural. <https://www.masvidarural.gob.cl/ruralidad-en-chile/>
- Delgado, V., Arumí, J., Reicher, O. (2017). Lessons from Spanish and us law for adequate regulation of groundwater protection areas in Chile, especially drinking water deposits. Water Resource Management.
- Díaz, A., Noguera, B., Salgot, M. (2016). Gestión pública vs gestión privada del agua: análisis de la remunicipalización. Universidad de Barcelona.

- ECODES. (2021). Utilización sostenible de los recursos naturales. Proyecto de investigación 3: El impacto del cuidado de la salud humana y animal en el recurso natural del agua desde un enfoque holístico One Health. Objetivo 1.- La depuración en pequeños municipios: retos y soluciones. Análisis de las tecnologías existentes y de las soluciones basadas en la naturaleza. https://ecodes.org/images/que-hacemos/MITERD_2021/Informes/La_depuracion_en_pequenos_municipios_retos_y_soluciones_Analisis_de_las_tecnologias_existentes_y_de_las_soluciones_basadas_en_la_naturaleza.pdf
- Frêne, C., G. Ojeda, J. Santibáñez, C. Donoso, J. Sanzana, C. Molina, P. Andrade y M. Núñez-Ávila. (2014). Agua en Chile: diagnósticos territoriales y propuestas para enfrentar la crisis hídrica. Eds. Cristián Frêne y Pedro Andrade. Chile, pp. 58.
- Fundación Amulén, Centro de Derecho, Gestión de Agua UC. (2019). Pobres de agua. Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto.
- Fundación Amulén. (2021). Levantamiento de información Sistemas de Agua Potable Rural Región del Maule. Reporte Sistemas de Agua Potable Rural.
- Fundación Chile, CONAMA. (s. f.). Tecnología de lombrifiltros. Superintendencia de Servicios Sanitarios. <https://infota.siss.cl/concesiones/empresas/ESVAL/01%20ESVAL/03%20Observaciones%20a%20las%20bases/Lombrifiltro%20Fundaci%20c3%20b3n%20Chile/Lombrifiltros%20Fundaci%20c3%20b3n%20Chile.pdf>
- Fundación Chile, (2022). Gobernanza desde las cuencas: institucionalidad para la seguridad hídrica en Chile. Escenarios hídricos 2030 - EH2030. Santiago, Chile. ISBN: 978-956-8200-62-6
- Fundación Newenko. (2021). Propuesta de institucionalidad. Elaborado para Escenarios Hídricos 2030, Santiago, Chile.
- Gantes, Y. (2018, 29 octubre). La despoblación rural, un problema que tienen las ciudades. *elEconomista.es*. <https://www.economista.es/status/noticias/9483314/10/18/La-despoblacion-rural-un-problema-que-tienen-las-ciudades.html>
- Gobierno de Chile. (2021). Plan de sequía. <https://www.gob.cl/plansequia/>
- Gobierno Regional de Coquimbo. (2018, mayo). Nuevos camiones aljibe reforzarán entrega de agua potable en Canela y Salamanca. Gobierno Regional. Región de Coquimbo. <https://www.gorecoquimbo.cl/nuevos-camiones-aljibe-reforzaran-entrega-de-agua-potable-en-canela-y-gorecoquimbo/2018-05-11/102957.html>
- Ibarguren, N., Huertas, R., Marcos, C. y Ordás, S. (2013). Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. León: Confederación Hidrográfica del Duero (CHD).
- Instituto de Ingenieros. (2011). Temas prioritarios para una Política Nacional de Recursos Hídricos. Santiago, Chile.
- Instituto de Ingenieros. (2012). Hacia una Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Una propuesta. Santiago, Chile.
- Instituto de Ingenieros. (2017). La reforma al código de aguas y gestión integrada de recursos hídricos. Santiago, Chile.

- Instituto Nacional de estadística (INE). (2002). Glosario de términos de demografía y estadísticas vitales. <http://palma.ine.cl/demografia/menu/glosario.pdf>
- Larraín, S. (2010). Marco jurídico para la gestión de aguas en Chile: Diagnóstico y desafíos. Chile Sustentable.
- Latinno. (s. f.). Comités de Agua Potable Rural. <https://latinno.net/es/case/4020/#:%7E:text=Los%20Comit%C3%A9s%20de%20Agua%20Potable,comunitarias%20del%20Ministerio%20del%20Interior.>
- Locken. (2018, 9 noviembre). La depuración de las aguas residuales urbanas en España. iAgua. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/la-depuracion-de-las-aguas-residuales-urbanas-en-espana>
- Marcos, J. (2018, 6 octubre). El 30% del territorio español concentra el 90% de la población. El País. https://elpais.com/politica/2018/10/05/actualidad/1538767620_420819.html#:~:text=M%C3%A1s%20de%2042%20millones%20de%20habitantes%20se%20concentran%20en%201.500,por%20un%20menor%20de%2015
- Martín, I., Betancort J.R., Salas J.J., Peñate B., Pidre J.R y Sardón N. (2006). Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Proyecto Icrew. Edición: Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), pp 21,26-27.
- Ministerio de Bienes Nacionales. (2022). Visor de Sequía. <https://sequia.visorterritorial.cl/>
- Ministerio de Medio Ambiente (2006). Memoria Medio Ambiente en España 2005. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio del Medio Ambiente, pp 177.
- Ministerio de Medio Ambiente (2007). Manual para la gestión de vertidos. Autorización de vertidos. Dirección General del Agua del Ministerio del Medio Ambiente, pp 23.
- Ministerio de Obras Públicas. (2015). Informe final de evaluación. Infraestructura hidráulica de agua potable rural (APR). Dirección de Obras Hidráulicas.
- Ministerio de Obras Públicas. (2019a). Tríptico historia APR. Dirección de Obras Hidráulicas.
- Ministerio de Obras Públicas. (2019b). Análisis plan inversión pública en saneamiento rural para 80 localidades concentradas. Dirección de Planeamiento.
- Ministerio de Obras Públicas. (2020). Ley N° 20.998 - Servicio Sanitarios Rurales. Servicios Sanitario Rurales. <http://www.doh.cl/SSR/index.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica (2018). Plan nacional de depuración, saneamiento, eficiencia, ahorro y reutilización. PLAN DSEAR. Directrices, programa de trabajos, calendario y fórmula de participación.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2022). Planes Nacionales Saneamiento y Depuración y otros instrumentos de financiación. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/saneamiento-depuracion/planes-instrumentos-financiacion/>. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/saneamiento-depuracion/planes-instrumentos-financiacion/>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo OCDE. (2017). Brechas y estándares de gobernanza de la infraestructura pública en Chile: Análisis de Gobernanza de Infraestructura. Paris. OECD Publishing.
- Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J., Aragón, C., Real, A. (2009). La depuración de las aguas residuales para pequeñas poblaciones. pp 6.
- Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J., Aragón, C., Real, A. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9. D
- Pidre, J., Salas, J., Sánchez, L. (2007). Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales: Humedales Artificiales. Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA).
- Redacción iAgua. (2020, 5 octubre). La depuración de las aguas residuales urbanas, una historia de España. iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/depuracion-aguas-residuales-urbanas-historia-espana>
- Rodríguez, P. (2012). Saneamiento en el sector rural: en busca de opciones sostenibles. Revista AIDIS Chile , 42, 11-16.
- Rojas, C. (2012). Las potestades administrativas de la Dirección General de Aguas. Actas de Derecho de Aguas, Santiago, Chile.
- Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente 1(1), 8-15.
- Salas, J., Ortega, E., Ferrer, Y., Sobrados, L., Aragón, C.A. (2008). Situación de la depuración de las aguas residuales en pequeñas poblaciones españolas. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Centro de Estudios Hidrográficos, pp 5-45.
- SISS - Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2013). Plantas de tratamiento de aguas servidas en operación en Chile año 2013. Superintendencia de Servicios Sanitarios. Recuperado de <http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3544.html>
- SISS - Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2016). Informe de Gestión del Sector Sanitario. Gobierno de Chile. Pp 17.
- Stehr, A., Álvarez, P., Arumí, L., Baeza, C., Barra, R., Berroeta, C., Yévenes, M. (2019). Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al Cambio Climático. Informe de la mesa Agua. Santiago: Comité Científico COP25; Santiago: Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Subdere (2012). Resumen catastro plantas de tratamiento de aguas servidas - Sector rural. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Recuperado de http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/catastro_plantas_tratamiento_aguas_servidas_sector_rural_ano_20121.pdf
- Vera-Puerto, I., Jorquera, C., López, D. (2016). Humedales construidos para tratamiento y reúso de aguas servidas en Chile: reflexiones. Tecnología y ciencias del agua.
- Vergès, J. (2010). Servicios de agua potable y alcantarillado: lecciones de las experiencias de Alemania, Francia e Inglaterra. Comisión Económica para América

Latina y el Caribe (CEPAL). https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/3789/S2010603_es.pdf