

MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO

SISTEMA DE DEPURACIÓN IDÓNEO PARA LA COMARCA ISLA BAJA

Suitable Depuration Sysyem for Isla Baja

Autores: D. Adrián Santos Peraza

D. Salvador Antonio Scarpato Valencia

D. Jorge Peraza Perera

Tutora: D^a. Rosa María Lorenzo Alegría

Grado en ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

FACULTAD DE ECONOMÍA, EMPRESA Y TURISMO

Curso Académico 2018 / 2019

La Laguna, a 13 de Septiembre de 2019

RESUMEN / ABSTRACT

En el Trabajo Fin de Grado presente se expone un análisis económico comparativo de dos sistemas de depuración de aguas residuales que han sido propuestos para la Comarca Isla-Baja, con la finalidad de determinar cuál de los dos es el más idóneo para la zona. Los dos sistemas a estudiar son: el Sistema Industrial de Micromembranas o MBR, propuesto por el Consejo Insular de Aguas de Tenerife y el Sistema Natural de Biodigestión diseñado por el ingeniero canario José Luis Peraza y propuesto por la Plataforma Isla-Baja. Para la realización de este análisis hemos comparado las variables cuantitativas y cualitativas más importantes, como el coste total, el consumo energético o los vertidos al mar. Los resultados obtenidos con este análisis apuntan a que el Sistema de Depuración Natural de Biodigestión es el más idóneo y que puede trasladarse a otras partes de la isla e incluso a todo el archipiélago.

PALABRAS CLAVE: Sistema de Depuración, Comarca Isla Baja.

On this End of Degree Project it's expose a comparative economic analysis of two wastewater treatment systems that have been proposed for the Isla-Baja Region, in orden to decide which of both is the most suitable for the área. The two systems to study are: the Industrial Micromembrane System or MBR, that was proposed by CIATF and the Natural Biodigestion System designed by the Canarian engineer José Luis Peraza and proposed by Isla-Baja Platform. For the realization of this analysis we have compared the most important quantitative and qualitative variables, such as total cost, energy consumption or discharges to the sea. The obtained results with this analysis suggest that the Natural Biodigestion Depuration System is the most suitable and that it can be transferred to other parts of the island and even to the entire archipelago.

KEY WORDS: Debug System, Isla Baja.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. LA DEPURACIÓN EN ESPAÑA Y CANARIAS.....	7
3. SISTEMA DE DEPURACIÓN.....	12
4. SISTEMA DE DEPURACIÓN ACTUAL Y ALTERNATIVO DE BIODIGESTIÓN NATURAL (SDN) QUE SE PROPONE PARA LA COMARCA ISLA-BAJA.....	17
5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS DOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO PROPUESTOS PARA LA ISLA BAJA.....	26
6. CONCLUSIONES.....	29
7. BIBLIOGRAFÍA.....	31

ÍNDICE DE GRÁFICOS, TABLAS E IMÁGENES

<i>Gráfico 1: Volumen de aguas residuales depuradas</i>	8
<i>Tabla 1. Resumen de las instalaciones de saneamiento en Canarias</i>	9
<i>Tabla 2. Datos sobre el servicio de saneamiento en la isla de Tenerife</i>	10
<i>Tabla 3. Recuperación de costes de tratamiento de depuración</i>	11
<i>Tabla 4. Criterios para la estimación del Coste de Capital de la Depuración</i>	11
<i>Tabla 5. Desglose del coste de explotación de una EDAR</i>	12
<i>Tabla 6. Recuperación de Costes del Servicio de Saneamiento en Tenerife</i>	12
<i>Tabla 7. Análisis comparativo del sistema MBR con el sistema de Biodigestión</i>	28
<i>Imagen 1. Filtro Verde</i>	14
<i>Imagen 2. Lechos de Tuba</i>	15
<i>Imagen 3. Lagunaje</i>	15
<i>Imagen 4. Sistema de Depuración Natural de humedales diseñado por José Luis Peraza</i>	21
<i>Imagen 5. Sistema de Depuración Natural de humedales diseñado por José Luis Peraza</i>	21
<i>Imagen 6. SDN de Fabara, Zaragoza</i>	26

1. INTRODUCCIÓN

El turismo es el sector más importante de la economía de las Islas Canarias, puesto que supone un 35,20% del Producto Interior Bruto y un 40% del empleo, según datos de IMPACTUR del año 2017. Cada año millones de turistas extranjeros visitan las islas por su privilegiado clima, pero sobre todo por sus maravillosas playas. En los últimos años las playas de Canarias se han ido enfrentando a un problema que es cada vez más importante, la contaminación.

Según publica Greenpeace España el día 10/08/2018, actualmente hay 394 vertidos al mar, de estos, 277 no están autorizados, lo que significa que vierten agua no depurada. Además, 69 van a dar a playas de baño. Solamente en Tenerife se encuentran 172 vertidos, teniendo 113 sin autorizar. Asimismo, el Parlamento Europeo sentencia que es ilegal verter aguas residuales sin depurar, debido al gran riesgo que constituyen para la población y los ecosistemas marinos. España ha recibido denuncias ante la comisión europea por no cumplir con la normativa de depuración de aguas, entrada en vigor el año 2000, hasta 43 municipios de más de 15.000 habitantes. En 2018 ha recibido una multa de 12 millones de euros, ampliable en 11 millones más por cada seis meses de retraso, debido a que todavía quedan nueve municipios sin cumplir la normativa. Entre estos municipios se encuentra el Valle de Güimar, que no tendrá capacidad para depurar correctamente la totalidad de sus aguas residuales hasta finalizar la fase II de su depuradora.

La seguridad de nuestras playas está en entredicho. Las autoridades canarias cierran constantemente algunas de estas desde hace años, debido a la alta contaminación de sus aguas. La contaminación de las costas está atacando de forma directa el ecosistema marino de las islas, poniendo en peligro algunas especies.

Por otro lado, el aumento considerable de las construcciones hoteleras y urbanísticas, hace que canarias no disponga de suficientes sistemas de depuración para soportar el aumento de población que ha sufrido y experimenta, sobretodo, en periodos vacacionales.

Un pequeño inciso requiere el tema de las sanciones debido al incumplimiento de normativa europea, Tenerife ha sido multada en varias ocasiones, ya que España le ha “repercutido” parte de la sanción que debe subsanar con la Comisión Europea, por no cumplir la norma medioambiental con respecto al vertido de aguas residuales al mar, las cuales no respetan los mínimos legales de calidad. Con lo que respecta al ámbito nacional, en cuanto a las multas por mala depuración, cabe destacar que España tras un sinfín de avisos, emplazamientos de Bruselas e incluso otra sentencia, en 2018 fue condenada a pagar la multa anteriormente mencionada, que deberá seguir pagando al menos hasta 2022, lo que se traduce en casi medio millón de euros que semanalmente destina el Gobierno, las Comunidades Autónomas o los municipios según la “repercusión de responsabilidades” para subsanar las multas surgidas por la mala depuración. Asimismo, España tiene abiertos cuatro expedientes más, ya que *“en total, hay un millar de pequeñas localidades, pedanías y urbanizaciones que aún vierten sus aguas residuales directamente al mar y a los ríos sin tratar o que las tratan insuficientemente”* según señalan fuentes de la Comisión Europea, tal como asegura ElDiario en su noticia publicada el 20/11/18.

Por tanto, como se puede apreciar, se trata de un problema de amplia gravedad, puesto que aunque la Comisión Europea ofrece infinidad de plazos, prórrogas y salidas a los Estados para evitar las multas y si bien es cierto que España acumula cuantiosos expedientes y algunas condenas del Tribunal de Justicia de la Unión Europea, no es menos cierto que es verdaderamente grave y muy costoso que se llegue hasta el extremo de incurrir en multas por no cumplir una directiva, como sucede con este caso.

En este sentido, hay que destacar que la riqueza natural de las Islas Canarias y la belleza de sus playas es la base de su desarrollo económico, por ello es imprescindible su sostenibilidad a largo plazo. Por tanto, es imprescindible la apuesta del Gobierno de Canarias de cara al futuro por sistemas de depuración alternativos naturales (SDN), como es el caso del sistema diseñado por el ingeniero canario José Luis Peraza, un sistema de depuración por biodigestión, que apenas consume energía y genera una cantidad muy baja de residuos de carbono.

La comarca Isla Baja es un entorno natural que desde hace varios años está solicitando un sistema de depuración natural, puesto que se están produciendo vertidos al mar incontrolados y sus vecinos están llevando a cabo acciones reivindicativas, a través de la Plataforma Los Silos-Isla Baja, con el fin de subsanar esta situación. Desde esta plataforma se propone el sistema de depuración por biodigestión (SDN) y se rechaza la propuesta del Consejo Insular de Aguas de Tenerife de un sistema de depuración por micromembranas (MBR), ya que no parece ser el mejor sistema, debido a su elevado coste y consumo energético.

Por todo ello, se ha generado bastante polémica en los últimos años en la comarca de La Isla Baja. De ello se han hecho eco diferentes medios de comunicación publicando las intenciones de una y otra parte. El 9 de julio de 2019, DauteDigital publicaba que el pacto Coalición Canarias y Partido Popular en el Cabildo promoverá la depuración comarcal en base a un sistema MBR, ya que en el documento del acuerdo de gobernabilidad para el Cabildo de Tenerife 2019-2023 se expone lo siguiente: *“Impulsaremos las infraestructuras de depuración de agua a nivel comarcal, con inversión del Estado, de la Comunidad Autónoma o de la propia corporación, aumentando los recursos existentes para los planes de saneamiento municipales, además de un mayor aprovechamiento del agua regenerada con sistemas de distribución y reparto tanto en el sur como en el norte de la isla”*. Esta disposición está dentro del apartado 3.2 de Saneamiento del Marco Estratégico de Desarrollo Insular (MEDI), donde se establece una inversión de 14,1 millones de euros, lo que supone un 40% de la inversión total para este apartado, destinado a implementar dicho sistema MBR en la Isla Baja.

Nuestro objetivo mediante este Trabajo de Fin de Grado es analizar los sistemas de depuración propuestos para la comarca Isla Baja y determinar cuál es el más idóneo, teniendo en cuenta todos los factores posibles además del económico, como es el impacto medioambiental. Buscamos determinar a través de un análisis económico comparativo si es factible instalar un sistema de depuración alternativo natural, teniendo en cuenta inversión inicial y costes de explotación.

En la siguiente sección se presentan los datos sobre la depuración en España y en Canarias. En la sección 3 se hace una recopilación de los diferentes sistemas de depuración, en el apartado 4 procederemos a especificar el sistema de depuración actual y alternativo que se propone para la

Isla Baja y, en el apartado 5, se expone un análisis económico de los dos sistemas propuestos para la Isla Baja. Y, por último, se presentan las conclusiones de este trabajo.

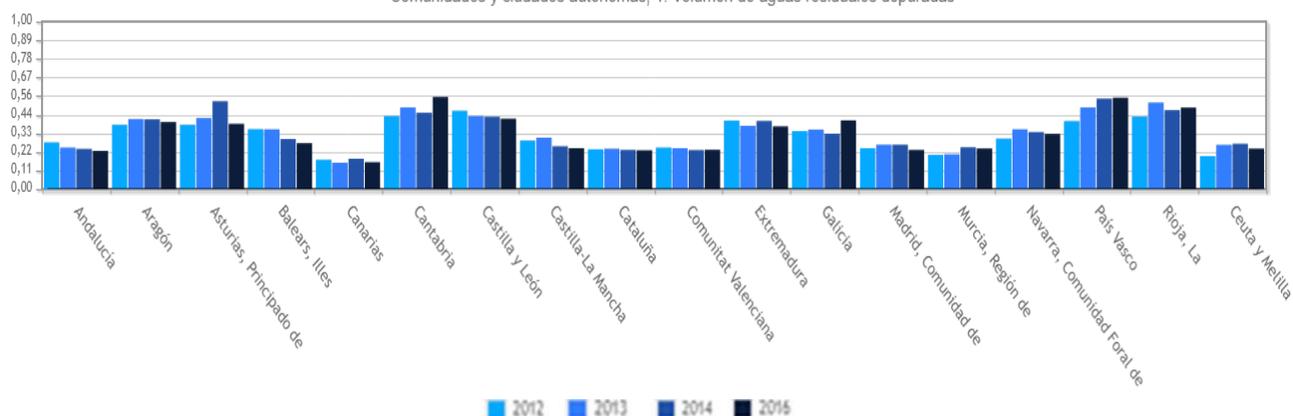
2. LA DEPURACIÓN EN ESPAÑA Y CANARIAS

En este apartado se exponen algunos datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) sobre el consumo de agua y la depuración de aguas residuales con el fin de contextualizar a Canarias en un marco nacional. En el año 2016 el consumo por habitante al día en España fue de 136 litros, lo que supone un aumento del 3% con respecto al consumo del año 2014, mientras que en Canarias fue de 143 litros por persona al día, por tanto, Canarias presenta un mayor consumo de agua que la media nacional. En el año 2016, todas las comunidades autónomas españolas recogieron y trataron 12.949.076 metros cúbicos de agua residual al día, correspondiéndole a Canarias 341.769 metros cúbicos/día, lo que supone un 2,64% del total nacional.

En el Gráfico 1 se presenta el volumen de aguas residuales depuradas en cada comunidad autónoma entre los años 2012 y 2016. Cabe destacar que, para la elaboración de este gráfico, según la metodología que ofrece el INE se realizó un estudio en el que se tuvieron en cuenta las aguas residuales a partir del tratamiento primario, del tratamiento biológico o secundario, del tratamiento terciario y de las tecnologías blandas. A modo de definición, las tecnologías blandas se aplican como procedimiento previo al tratamiento primario o a aguas residuales poco contaminadas, empleando lechos de turba, lagunaje o filtro verde. El tratamiento primario (físico-químico) se refiere a los procesos de flotación, decantación, desarenado y/o desengrasado, en los cuales se eliminan lodos, aceites y grasas. El tratamiento secundario (físico-químico y biológico) emplea técnicas a base de microorganismos que degradan la materia orgánica tales como digestores. El tratamiento terciario (físico-químico, biológico y avanzado) emplea procesos tales como la ósmosis inversa o la desnitrificación.

Gráfico 1: Volumen de aguas residuales depuradas

Indicadores sobre las aguas residuales por comunidades y ciudades autónomas
Comunidades y ciudades autónomas, 1. Volumen de aguas residuales depuradas



Fuente: INE

Nota: Los datos se expresan en metros cúbicos por persona al día.

Como se puede apreciar, Canarias es la Comunidad Autónoma que menos volumen de agua residual depura por habitante y día de toda la geografía española. Si bien, la media nacional se encuentra, en el año 2016, en 279 litros de agua residual depurada por persona al día, Canarias depura únicamente 160 litros, lo que supone una diferencia de 119 litros diarios por habitante. Asimismo, la media española entre los años 2014 y 2012 fue de 291 en 2014, 294 en 2013 y 291 en 2013 litros de agua residual depurada por persona al día, mientras que en Canarias se depuraron 181, 157 y 175 litros respectivamente, por tanto, la diferencia se ha ido manteniendo en los últimos años. A modo de síntesis hay que destacar, tomando como referencia estos cuatro años de estudio, que Canarias depura de media diariamente por persona 121 litros menos que la media de España, lo que supone un 41,73%, es decir, depuramos casi la mitad menos que la media nacional.

Según se especifica en el informe que realiza el INE, el destino de esas aguas residuales tratadas se divide entre mar, cauce fluvial, agua reutilizada, infiltraciones del terreno y otros. España envía un 33,5% de sus aguas residuales tratadas al mar, un 55,8% a un cauce fluvial, un 0,2% a infiltraciones al terreno, un 0,1% a otros y un 10,4% es reutilizada. En el caso de Canarias, un 77,9% se destina al mar, un 2,1% a un cauce fluvial, un 0,2% a infiltraciones en el terreno y un 19,8% corresponde a agua reutilizada. Respecto al agua reutilizada, la comunidad canaria emplea un 70,8% a la agricultura, un 27,2% a jardines y zonas deportivas de ocio y un 2% a limpieza de alcantarillado y baldeo de calles. De estos datos, se observa que Canarias destina al mar un 40% más que la media nacional.

Otro problema que nos concierne es el destino de los lodos resultantes de la depuración, puesto que si bien es cierto que la media nacional muestra que el 80,2% de los mismos es empleado para la agricultura, silvicultura y jardinería, un 9,5% es empleado para la incineración o aprovechamiento energético y un 10,3% se envía a vertederos, no es menos cierto que Canarias

no destina el lodo resultante a la agricultura, silvicultura y jardinería, dejando únicamente un 9,6% para la incineración y/o el aprovechamiento energéticos y enviando un 90,4% al vertedero. Siendo con Asturias, Ceuta y Melilla, las únicas regiones de España que no destinan el lodo resultante de la depuración a la agricultura, silvicultura y/o jardinería.

Otro dato importante según publica el INE es que, en el año 2016, España recaudó 2.485.747.000€, mientras que Canarias ingresó 62.441.000€, lo que supone aproximadamente un 2,5% del total, en concepto de depuración de aguas residuales y alcantarillado como importe total de ingresos a partir de los tributos de carácter biológico, de las tarifas municipales y de las tasas. Entre los tributos de carácter biológico estudiados por el INE, encontramos los impuestos por vertidos de aguas al Dominio Público Hidráulico, incluyendo el canon de vertido al mar, y el canon de saneamiento para sufragar la construcción y el mantenimiento de las plantas de depuración de aguas residuales.

A continuación, los datos que se reflejan en la Tabla 1, presentan un resumen de las instalaciones de saneamiento en Canarias, extraídos todos estos del Plan Hidrológico de Tenerife, en el Ciclo de Planificación Hidrológica para los años 2015 al 2021, en adelante PHT (2015-2021). Según el PHT (2015-2021) en la Comunidad Autónoma de Canarias existen actualmente cerca de 100 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) con una capacidad de diseño de unos 2 millones de habitantes equivalentes (h-e), con unos 400.000 m³/día. Existe además en la Comunidad Autónoma de Canarias un número desconocido de pequeñas depuradoras privadas que sirven principalmente a instalaciones hoteleras, de las cuales no se dispone de datos. Por lo tanto, estas pequeñas depuradoras no se tienen en cuenta en los datos del PHT.

Tabla 1. Resumen de las instalaciones de saneamiento en Canarias

Isla	Datos generales		Depuración		
	Superficie por isla (Km ²)	Población abastecida*	Numero de EDAR	Capacidad de diseño (h-e) ó (m ³ /día)**	Capacidad por población (h-e)/(hab)
Gran Canaria	1.560	706.000	48	1.114.120 h-e	1,58
Fuerteventura	1.660	114.000	17	24.950 m ³ /día	1,09
Lanzarote	846	156.000	6	22.400 m ³ /día	0,72
Tenerife	2.034	1.078.000	8	611.792 h-e	0,57
La Palma	708	64.000	11	7.156 m ³ /día	0,56
La Gomera	370	19.000	6	12.120 h-e	0,64
El Hierro	269	10.000	3	3.000 h-e	0,30
Canarias	7.447	2.147.000	99	2.014.000 h-e 403.000 m³/día	0,94

Fuente: PHT (2015-2021)

Nota: m³/día=metros cúbicos de agua por día; h-e=habitantes equivalentes.

* Dato de población según los informes actuales de la CTP. En el caso de la Isla de El Hierro el dato corresponde al del INE

** Se considera para la comparación de las cargas de diseño que 1 h-e corresponde mediamente a 0,2 m³/día

Llama la atención que la isla de Gran Canaria posea la mitad de las EDAR de Canarias. Seis veces más que la isla de Tenerife, abasteciendo cerca de 400.000 habitantes menos. Esta última tiene un ratio de capacidad por población muy bajo, 0,57 para la cantidad de población abastecida. Esto se ve reflejado a continuación en la Tabla 2, en la que se resumen los datos del servicio de saneamiento en esta isla.

Tabla 2. Datos sobre el servicio de saneamiento en la isla de Tenerife

Servicio de saneamiento	Tenerife
Datos generales	
Superficie Isla [km ²]	2.034
Población abastecida [hab]	1.078.000
Caudal abastecimiento facturable [m ³ /año]	78.592.000
Caudal aguas residuales generado [m ³ /año]	58.826.000
Alcantarillado	
Longitud de la red [m]	1.637.000
Estado de la red [% Bueno]	Estim. 46%
Longitud por población [m/hab]	1,52
Agua residual recogida [m ³ /año]	33.824.682
% de AR generada recogida	57%
Depuración	
Número de EDAR	8
Capacidad de diseño	611.792 h-e
Capacidad por población [h-e/hab]	0,57
Agua residual tratada [m ³ /año]	18.589.000
% de AR generada sometida a depuración	32%
% de AR recogida sometida a depuración	55%

Fuente: PHT (2015-2021)

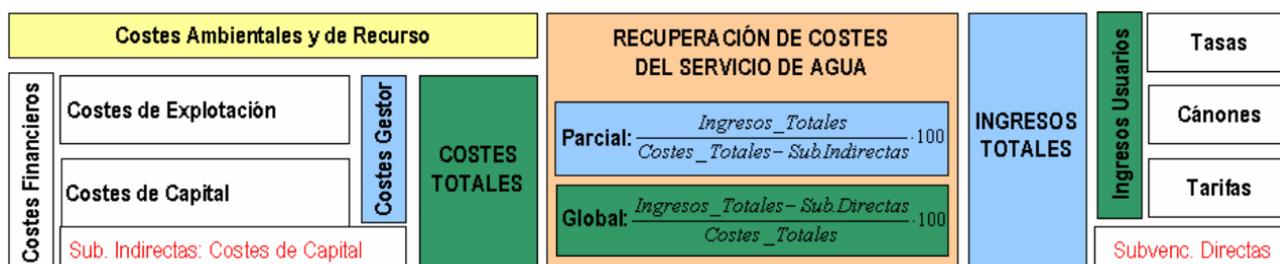
*AR: Aguas Residuales

Como podemos apreciar, en la isla de Tenerife se recoge al año un 57% de las AR que se generan, de las que solamente un 55% se somete a depuración. Dando como resultado que apenas se depura un 32% de las AR totales generadas en la isla, lo cual es alarmante.

Un dato relevante en el análisis de la viabilidad económico-financiera de un proyecto es el análisis de los costes producidos e ingresos generados. Se busca saber a través de este análisis cuantos costes se pueden financiar con los ingresos esperados de dicho proyecto, lo que se denomina “recuperación de costes”.

Seguidamente se presentan los resultados del estudio sobre la recuperación de costes del tratamiento de depuración obtenidos del PHT (2015-2021). En la Tabla 3 se resumen las diferentes partidas de costes (de capital y de explotación), así como la recuperación de estos (globales y parciales), a través de diferentes ingresos por parte de usuarios (tasas, cánones, tarifas...) y los procedentes de subvenciones.

Tabla 3. Recuperación de costes de tratamiento de depuración



Fuente: PHT (2015-2021)

En la tabla 4 se presentan los criterios adoptados por el PHT (2015-2021) para la estimación de costes de capital de depuración. Los datos sobre el coste del capital han sido obtenidos en base a estimaciones de determinados supuestos. Respecto al coste del capital de una depuradora, como se nombra en el propio estudio, depende de varios factores, como pueden ser: el tipo de tratamiento, el nivel de contaminación de las aguas, la extensión que ocupa la instalación, etc. El valor de la infraestructura de depuración ya existente se estimó en base a precios de costes de primera instalación de depuradoras convencionales basados en la capacidad de depuración. Aplicándose un coste medio de 110 €/h-e tratado o, teniendo en cuenta la equivalencia teórica a nivel insular de 1 h-e = 0,2 m³/día, de 550 €/m³/día. Dependiendo del tamaño medio de las EDAR en cada isla, este valor puede variar, siendo más alto cuanto más pequeñas sean las EDAR. Además, se ha estimado una vida media de 20 años para las instalaciones, obteniendo así un 4% de amortización anual del importe de la inversión.

En el caso del servicio de depuración se considera como ya amortizada cuando es más antigua de 20 años, es decir el 20% de la infraestructura actual. La repartición entre costes de capital autofinanciado y coste de capital subvencionado por organismos ajenos al titular del servicio, se estima en un 15% de autofinanciación.

Tabla 4. Criterios para la estimación del Coste de Capital de la Depuración

Tema	Estimación asumida
Coste medio de la inversión: Depuradora convencional según capacidad	110 € / h-e tratado o respectivamente 550 €/m ³ /día (varía dependiendo del tamaño medio de las EDAR)
Plazo medio de amortización infraestructura de depuración y tasa de descuento	20 años – Tasa de descuento del 4%
Antigüedad de la infraestructura	20% de infraestructura ya amortizada (más antigua que 20 años)
% de la infraestructura subvencionado por fondos ajenos al titular del servicio	85% de la infraestructura subvencionada por fondos ajenos 15% de la infraestructura autofinanciada

Fuente: PHT (2015-2021)

En cuanto a los costes de explotación, en relación a las inversiones de primera instalación, los costes de explotación se estima que pueden representar anualmente hasta un 30% del coste total de inversión, según señala el PHT (2015-2021).

Posteriormente en la Tabla 5 se especifica la distribución los costes de explotación de una EDAR, detallando su porcentaje adjudicado, aproximadamente. Según detalla en su trabajo Aurelio Hernández Muños (1997).

Tabla 5. Desglose del coste de explotación de una EDAR.

Concepto	Porcentaje del total
Costes de Personal	35% - 65%
Costes de Energía Eléctrica	10% - 25%
Costes de Materiales	20% - 25%
Costes de Mantenimiento	5% - 15%

Fuente: PHT (2015-2021), Hernández Muñoz Aurelio (1997)

Finalmente, en la Tabla 6 se definen los porcentajes de costes recuperados con ingresos (ingreso respecto a costo) en los servicios de alcantarillado, saneamiento y depuración, detallados en base a las estimaciones planteadas en la Tabla 4.

Tabla 6. Recuperación de Costes del Servicio de Saneamiento en Tenerife.

Tenerife Servicio	Gastos Gestor [€/año]	Ingresos Totales [€/año]	Recuperación de costes parcial	Subvenciones anuales		Recuperación de costes globales
				Coste capital [€/año]	Ingresos [€/año]	
Alcantarillado	11.932.066 €	12.260.327 €	103%	€ 9.719.050	-	57%
Depuración	4.492.102 €	8.173.551 €	182%	3.763.398 €	-	99%
Saneamiento	16.424.168 €	20.433.879 €	124%	13.482.448 €	-	68%

Fuente: PHT (2015-2021)

3. SISTEMAS DE DEPURACIÓN

La contaminación del océano por el vertido de aguas residuales sin depurar se ha convertido en uno de los problemas globales más urgentes de la humanidad.

Cada año, más de 1000 millones de toneladas de aguas residuales son vertidas a ríos, lagos y océanos del mundo, contaminándolos con metales pesados, ácidos, aceites y otros productos químicos. Esto tiene un efecto dañino sobre los ecosistemas costeros, perjudica a la población local, daña actividades locales como la pesca y también afecta de manera negativa a la industria del turismo.

A continuación, nos centraremos en el vertido de aguas residuales al mar de la Isla de Tenerife.

Según la noticia publicada el 26 de Julio de 2017 por la agencia privada de noticias española, Europa Press, en Tenerife, se vierten al mar cerca de 57 millones de litros de agua que no cumplen la legislación sobre tratamiento de aguas residuales. Esto supone un gran daño al variado ecosistema marino de la Isla, pues desaparecen las especies autóctonas y habituales en la zona y, en su lugar, aparecen otras adaptadas a los altos niveles de contaminación como pueden ser las microalgas y cianobacterias.

La urbanización masiva y sus efectos colaterales, en este caso, el vertido de aguas residuales, ha tenido efectos devastadores en el ecosistema marino de la Isla de Tenerife. Los vertidos de aguas residuales están acabando con la producción de algunos alimentos como las salinas, ya que disminuyen la seguridad alimentaria. El comer productos que provengan de un mar contaminado es un grave riesgo para la salud, por ello este problema debería de tener una importante relevancia. Tenerife es una isla sustentada en su mayor parte en la industria del turismo pues es el sector que genera más empleo y el que cuenta con un mayor PIB. El vertido de aguas residuales al mar también provoca efectos negativos en el turismo. Se hace necesario una correcta depuración de las aguas para que no se realicen vertidos al mar.

En este apartado, se presentan los diferentes sistemas de depuración, tanto naturales como industriales, de cara a conocer mejor los distintos procedimientos de los métodos de depuración.

En cuanto a la depuración natural, en la actualidad existen dos grandes grupos de técnicas de depuración. Por un lado, están los métodos de tratamiento mediante aplicación del agua sobre el terreno y, por otro lado, los sistemas acuáticos.

En el tratamiento mediante aplicación directa en el terreno, el suelo es el medio receptor de las aguas residuales. Además, tanto en la superficie como en el interior del suelo, tiene lugar el proceso de depuración eliminando materia orgánica, nutrientes, microorganismos y otros componentes como metales pesados. Los principales métodos de tratamiento del terreno son el Filtro Verde, la Infiltración Rápida, la Escorrentía Superficial, los Lechos de Turba y los Lechos de Arena.

El filtro verde es un método de depuración de aguas residuales que se utiliza en poblaciones inferiores a 25000 habitantes. Consiste en verter una cantidad controlada de agua residual sobre la superficie de un terreno, en el que previamente se ha instalado un cultivo. Con este sistema se consigue tanto la depuración de aguas residuales como el crecimiento de especies vegetales. Para mantener el terreno en buenas condiciones, las aguas residuales se aplican en ciclos variables de entre 4 y 10 días.



Imagen 1: -Filtro Verde-

El tratamiento de aguas residuales mediante infiltración rápida consiste en la aplicación del agua residual encima de balsas superficiales levantadas en suelos de permeabilidad media-alta. Este sistema de depuración se aplica generalmente en poblaciones menores de 5000 habitantes. El agua residual se vierte al terreno en tasas elevadas y de forma cíclica para permitir la regeneración de la zona de infiltración y mantener su capacidad de tratamiento. Este es un sistema similar al de Filtro verde. Sin embargo, al tratarse de caudales muy superiores, el suelo debe tener mejores características y condiciones hidráulicas.

El método de Escorrentía Superficial es relativamente nuevo y se encuentra en poblaciones pequeñas de menos de 500 habitantes. Consiste en provocar el flujo del agua residual, mediante riego por circulación superficial en láminas, sobre un suelo acondicionado que debe estar en pendiente (del 2 al 8%) y con vegetación no arbórea.

La aplicación del agua residual se realiza en ciclos de varias horas, durante 5 a 7 días a la semana. El agua se distribuye mediante rociadores de baja presión, aspersores con bajo caudal o tuberías provistas de orificios.

Los Lechos de Turba son métodos utilizados en poblaciones menores de 2000 habitantes. El sistema está compuesto por lechos de turba a través de los que circula el agua residual. Cada lecho está apoyado sobre una capa de arena, soportada, a su vez por otra capa de grava. El efluente se recoge a través de un dispositivo de drenaje situado en la base del sistema. En este sistema de depuración son esenciales las propiedades de absorción y adsorción de la turba, así como toda la actividad bacteriana desarrollada en su superficie.

El proceso de los lechos de turba consta de tres fases. La primera consiste en un pretratamiento del agua compuesto por una serie de filtros autolimpiables; La segunda es un tratamiento secundario compuesto por los propios lechos de turba; La tercera es opcional y tiene como objeto la eliminación de patógenos sometiendo el efluente derivado de los lechos a un proceso de cloración.



Imagen 2: -Lechos de Tuba-

El método de depuración de Lechos de Arena es uno de los más antiguos para la depuración de aguas residuales. Consiste en lechos de material granular, de grano uniforme, adecuadamente drenados en el fondo. Generalmente se emplean como sistemas secundarios de aguas tratadas previamente mediante otros sistemas. Este sistema de depuración consiste en el vertido intermitente de las aguas residuales sobre los filtros de arena mediante tuberías de distribución en un filtro granular y los filtros con recirculación, en los cuales, el agua proveniente del sistema de drenaje se vierte de nuevo en el filtro y se mezcla con agua sin depurar.

En el tratamiento mediante sistemas acuáticos, la depuración se ejerce en el seno del medio acuático, siendo partícipes en el proceso raíces de plantas y la actividad microbiológica asociada. Son sistemas que generalmente son diseñados para mantener un flujo continuo. En cuanto a los sistemas acuáticos, cabe destacar que existen tres tipos: los Lagunajes, los Humedales y los Cultivos Acuáticos. El lagunaje se aplica, generalmente, a poblaciones superiores a los 200 habitantes. Se necesita una superficie de terreno de, al menos 6,5 m²/hab.

El proceso de depuración consiste en el almacenamiento de aguas residuales en un tiempo variable en función del clima y la carga aplicada del agua, de manera que los microorganismos presentes en el medio acuático actúan sobre la materia orgánica y la degradan.



Imagen 3: -Lagunaje-

Con respecto a los humedales, hay que destacar que son terrenos inundados con profundidades de agua de unos 60 cm, aproximadamente, y cuenta con plantas emergentes. En este sistema el agua fluye continuamente y la superficie libre permanece al nivel del suelo.

En este sistema de depuración acuático, la vegetación existente proporciona superficies adecuadas para la filtración y la adsorción de los componentes del agua residual. Además, limita el crecimiento de algas debido a la escasa penetración de la luz solar. Para depurar el agua residual, se han utilizado terrenos pantanosos artificiales y naturales.

Por último, los Cultivos Acuáticos son, básicamente, una variante de los humedales artificiales en los que se incorpora un cultivo de plantas flotantes para conseguir eliminar determinados componentes de las aguas a través de sus raíces, responsables de una parte importante del tratamiento.

En cuanto a los sistemas de depuración industriales, debemos hacer hincapié en el Sistema de Biorreactor de Membrana (MBR) que pertenece a las denominadas tecnologías de membrana. El MBR se puede definir como “una tecnología para la depuración de aguas residuales que combina el proceso de degradación biológica denominado fangos activos con la separación sólido/líquido mediante la filtración con membranas. Se pueden distinguir dos partes en un sistema MBR: la primera parte es la unidad biológica que se encarga de la degradación de los compuestos orgánicos mientras que la segunda parte es un módulo de filtración que se encarga de llevar a cabo la separación física de la mezcla. Hay que destacar que este sistema MBR es el que propone el CIAFT, para la Comarca de Isla Baja de Tenerife, en el Plan Hidrológico de Tenerife.

La primera planta de tratamiento de aguas residuales con Reactores Biológicos de Membranas (MBR) en España se instaló en Lanzarote en el año 2002. En la actualidad esta tecnología está instalada en más de 60 EDAR, algunas de ellas de gran capacidad como son la EDAR de Gavá – Viladecans (Cataluña) o la EDAR de San Pedro de Pinatar (Murcia).

Además, el sistema de depuración MBR, ya ha sido instalado en otros municipios de la isla de Tenerife. Concretamente, la instalación de esta depuradora en Valle de Guerra supuso una inversión de 12 millones de euros según una noticia del Consejo Insular de Aguas de Tenerife, publicada el 24 de noviembre de 2017. Se puede comprobar que se trata de un coste elevado en comparación con el sistema de biodigestión planteado.

En el trabajo de P. Rajasulochana (2016), se exponen nuevos métodos naturales de depuración de aguas que están demostrando ser superiores a los métodos convencionales. Además, en el trabajo se dice que los métodos convencionales para eliminar los metales se están volviendo inadecuados para cumplir con los estrictos límites reglamentarios actuales de efluentes y están aumentando su costo progresivamente. Esta clase de estudios avala la propuesta de la plataforma de un sistema de biodigestión natural frente a un sistema convencional.

4. SISTEMA DE DEPURACIÓN ACTUAL Y ALTERNATIVO DE BIODIGESTIÓN NATURAL (SDN) QUE SE PROPONE PARA LA COMARCA ISLA BAJA

Dado que no se dispone de un documento que centralice la información del actual sistema de saneamiento de la Isla Baja, el 19 de febrero de 2019 nos entrevistamos con Roberto Hernández, promotor de la Plataforma Los Silos-Isla Baja. Esta plataforma surgió por una serie de inquietudes, ante un proyecto que el Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) quería imponer en la zona de La Isla Baja mediante la creación de una planta depuradora industrial comarcal en base a Sistema de Membranas de Microfiltración (en adelante sistema MBR), cuyas características se presentarán en esta sección del documento.

Todo comenzó cuando el CIATF conformó un gran proyecto para instaurar una planta depuradora industrial, recogido en el Plan Hidrológico de Tenerife de 2018, que, aunque en líneas generales estaba completo, existían ciertas lagunas de información. *“Pensando que ese proyecto en un par de años iba a ser implementado sin tener en cuenta a la población, ni a ningún tipo de asociación o institución social. Querían realizarlo rápido, puesto que la Unión Europea les estaba multando. Tenerife recibe gran cantidad de multas, multas millonarias, con motivo del no cumplimiento de los planes de construcción de sistemas de depuración que sean viables para la isla. Vivimos en una isla que depende del turismo, tenemos eslóganes tales como “Tenerife Isla Amable”, pero realmente no estamos tratando la isla como se merece, puesto que la contaminación continúa creciendo”*, afirma el responsable de La Plataforma.

La Plataforma Los Silos-Isla Baja está en contra del sistema MBR, en primer lugar, debido a que un tipo de depuradora industrial es una macro estructura con un evidente gasto energético, y, además, ese gasto energético se abastece de energías no renovables como son el carbón y el petróleo. Asimismo, una depuradora industrial genera una grave dependencia a una empresa de mantenimiento, que es uno de los principales problemas del estado de las depuradoras de aguas en Tenerife. Igualmente, y de forma indirecta, se genera un aumento en la factura del agua y de la luz debido a los contratos, de alrededor de 50 años, que se deben firmar con las empresas de mantenimiento. Por otro lado, el impacto medioambiental que genera este tipo de depuradora resulta innegable, ya que se trata de grandes construcciones valladas y que, en muchos casos, no resulta sencilla la tarea de ubicarlos en el mapa debido a su dimensión. Finalmente, el plan que se pretendía implantar, no cumplía con los objetivos de sostenibilidad de la Organización de las Naciones Unidas, ya que, si bien, en un principio, uno de los argumentos del Cabildo de Tenerife a favor de la creación del Plan era que la depuradora esencialmente debía de ser comarcal, posteriormente se descubrió que no estaban en lo cierto, y que, incluso, se aconsejaba por parte de la ONU la descentralización de las plantas depuradoras, ya que es más sencillo tratar cualquier tipo de problema.

Es de vital importancia comprender la diferencia entre los términos EDAR, ETAR y EBAR que procedemos a especificar a continuación.

1. En primer lugar, con el término *ETAR* nos referimos a la estación de tratamiento de aguas residuales.

2. En segundo lugar, *EBAR* es la estación de bombeo de aguas residuales, es decir la que bombea las aguas residuales con la finalidad de transportarlas a otro lugar.
3. Finalmente, el término *EDAR* hace referencia a la estación de depuración de aguas residuales.

Según nos informa Roberto Hernández, en el caso de Isla Baja, más concretamente en la zona de Las Cruces de Garachico, existía una ETAR que presentaba ciertos inconvenientes. Antiguamente, en Garachico, concurría un problema con el tratamiento de las aguas residuales en el casco histórico del municipio, y, tras ciertas medidas correctoras se consideró trasladar el tratamiento de las aguas residuales a la zona de Las Cruces. Como disposición correccional, se construyó esa pequeña planta ETAR, es decir una planta de tratamiento de aguas. Dicha ETAR, con un sistema de carácter industrial, nunca ha llegado a funcionar de manera correcta por diversos motivos que procedemos a relatar: en primer lugar, los ayuntamientos han tenido dificultades para financiar toda lo relativo al cuidado y mantenimiento de esos sistemas de depuración industrial, y finalmente, se ha terminado abandonando, tras haber invertido cuantiosas cantidades de dinero en la misma. No debemos olvidar que una planta de depuración industrial es sistema complejo que requiere una fuerte inversión, no solo en la construcción inicial, sino también en el cuidado y mantenimiento del mismo, ya que resulta de vital importancia para este sistema de depuración una empresa de obreros altamente cualificados, una serie de ingenieros y personal de apoyo. Roberto Hernández, de la Plataforma Los Silos-Isla Baja llega incluso a afirmar que: *“Se ha ido dejando, dejando y esas aguas fecales han vertido directamente, sin tratamiento previo alguno, al mar. Incluso a veces con sólidos”*.

Todo ello está documentado y fotografiado por los surfistas de la zona, que son quienes han sufrido las primeras consecuencias de dicho vertido de aguas al mar sin tratamiento previo alguno: gastroenteritis, ronchas por todo el cuerpo, erosiones cutáneas. Algo similar ha ocurrido en la zona del sur de la Isla, más concretamente en Las Américas. Como consecuencia de ello, grupos de surfistas lleva más de 15 años denunciando las secuelas sufridas por el vertido de aguas fecales al mar. No cabe duda de que estamos ante un problema grave, puesto que, en gran parte, la economía insular depende del turismo y de la calidad de sus playas.

En este sentido, los promotores de la Plataforma comenzaron a informarse a través de documentos y notas de prensa de que Garachico estaba planificando llevar las aguas fecales hacia los Silos, puesto que en los Silos existe un emisario submarino, elemento que sí cumpliría la normativa de depuración y las leyes existentes de la misma. Pese al cumplimiento, la Plataforma e, incluso, la Unión Europea están en contra de estos emisarios submarinos, puesto que se encargan simplemente de retirar los sólidos de las aguas fecales, y estas aguas mínimamente tratadas se vierten directamente a 500 metros de la costa en el mar, algo legal pero no recomendable. Asimismo, cabe destacar que los emisarios submarinos tienden a deteriorarse debido a la fuerza del mar norteño y a la escasa inversión en su mantenimiento.

Según asegura Julio Muñoz, quien fuera profesor de química ambiental y uno de los primeros especialistas en vincular las cianobacterias de Canarias con el vertido de aguas al mar, la forma de la Isla de Tenerife, triangular o piramidal y con gran variedad de entrantes y salientes de tierra al mar presenta ciertos problemas de concentración de las aguas residuales. Estas aguas se

acumulan exponencialmente con el paso del tiempo. Las famosas cianobacterias, comúnmente denominadas “microalgas”, han sido formadas por las emisiones de aguas mínimamente tratadas y por la peculiar forma de la isla de Tenerife. Algo contrario a lo que sucede en la Isla de Gran Canaria, ya que debido a su forma redondeada se forman bucles que ayudan a expandir las aguas vertidas al mar y evitan las concentraciones que sí se forman en Tenerife.

Los vertidos de aguas residuales al mar se componen principalmente de nitrógeno y fósforo, componentes que sirven de nutrientes para gran variedad de plantas, algo de lo que se aprovecha el SDN. Algo contrario sucede cuando estos componentes se vierten al mar, puesto que, salvo algún tipo de alga, no existe flora marina que neutralice los mismos. Por ejemplo, los cebadales existentes en la zona del puerto de Granadilla servían de gran utilidad como filtro natural. Con el paso del tiempo los cebadales han ido desapareciendo de las costas tinerfeñas, asimismo en la zona de la Isla Baja, la carencia de los mismos siempre ha sido patente.

Por tanto, con la carencia de flora y fauna marina que neutralice y transforme la concentración de contaminantes y con la forma de la isla de Tenerife, el problema de los vertidos es cada más notable. Todo ello se ha visto reflejado en la aparición de las cianobacterias, sufridas en Tenerife especialmente en el verano del año 2017, que únicamente desaparecen cuando hay mar de fondo o cuando existen importantes condiciones meteorológicas adversas.

Siguiendo con Roberto Hernández, en enero de 2017 se reunieron los fundadores de la plataforma con el fin de informarse bien acerca del mejor sistema de saneamiento para la comarca, además de en Garachico, ahora también en Los Silos. Así fue como se dispusieron a ir al ayuntamiento y les comentaron el proyecto del MBR, argumentando que Los Silos iba a innovar en cuanto a la depuración de aguas, algo que con el tiempo terminaron averiguando que no era correcto, ya que el proyecto estaba desaconsejado por la Unión Europea y estaba aún sin terminar. Pero los alcaldes de Garachico, Los Silos y Buenavista, junto con el vicepresidente del Cabildo siguieron adelante con el proyecto, llegando a sacarse una foto en Garachico para la presentación del mismo, que como se ha comentado anteriormente no estaba finalizado, pero convenía realizar la presentación con rapidez con el fin de frenar las multas hacia la isla. Se saltaron varios pasos, tales como analizar las diferentes medidas de depuración que se pudieran implantar, con el fin de establecer la mejor e informar a la población de dicho proyecto.

La plataforma protestó y exigió al ayuntamiento una reunión para todo el municipio que terminó llevándose a cabo tras insistir en varias ocasiones. Así fue como se presentó el proyecto del sistema de depuración MBR. Si bien en un principio se prometió desde el Gobierno Autónomo que iban a estar los técnicos del Cabildo de Tenerife, que eran quienes habían redactado el proyecto, tal como se había demandado por escrito y se había prometido, finalmente, no acudieron y solo asistieron un aparejador y un técnico local que no conocían realmente la dimensión del proyecto. Con la falta de información y las promesas incumplidas, la Plataforma Los Silos-Isla Baja prosiguió con su objetivo, procediendo a presentar escritos denunciando la situación en la Oficina de Extensión del Cabildo de Tenerife en los Pedregales, así como en los Ayuntamientos Garachico y Buenavista.

Resulta de vital importancia, comprender el sistema de depuración alternativo de biodigestión natural por humedales, en adelante SDN, instalado en el Parque Rural de Teno, más concretamente en Masca con un enorme éxito. Este es el modelo que defiende principalmente la Plataforma los Silos-Isla Baja para instaurar en la comarca de la Isla Baja, ya que presenta una serie de ventajas que procederemos a relatar en el siguiente apartado de este trabajo. Si bien es cierto que los lugares donde se han implementado estos SDN corresponden a zonas poco pobladas, no es menos cierto que no supone ningún inconveniente realizar dicho sistema para 15.000 habitantes e, incluso más, ya que como Peraza explica: *“Este proyecto depurador se adapta a las especificidades de cada lugar”*. En adelante, continuaremos explicando el funcionamiento del SDN, así como las características que lo hacen especial y su simbiosis con el medio ambiente.

El SDN de Masca fue diseñado a partir de la creación de la Oficina de Gestión del Parque Rural de Teno en el año 1997 por el ingeniero técnico industrial especializado en energías José Luís Peraza, quien implementó un novedoso procedimiento creado fundamentalmente para Masca. Asimismo, resulta interesante conocer que existen SDN, en base al mismo funcionamiento, diseñados por Peraza instalados y funcionando correctamente en Los Carrizales o en el albergue de Bólico, situado en Teno. Asimismo, recientemente se ha instalado una depuradora natural en Las Lagunetas

Cabe destacar que uno de los requisitos más importantes para el diseño de este sistema era que estuviera en completa armonía con el entorno y respetara cuidadosamente el paisaje, ya que Masca, únicamente por detrás del Parque Nacional del Teide, es el segundo ENP (Espacio Natural Protegido) más visitado de Tenerife. De la misma forma, resulta de vital importancia un correcto saneamiento de las aguas residuales en esta zona, ya que anualmente más de un millón de turistas, lo que supone una media de tres mil viajeros al día visitan Masca dejando residuos de difícil tratamiento, debido a la singularidad, antigüedad y pendiente de la zona del barranco del Macizo de Teno, sucediendo algo similar con la fuerte carga de turismo que recibe la comarca de la Isla Baja. Asimismo, un erróneo procedimiento de las aguas residuales puede traer consigo graves problemas tales como el deterioro de los ecosistemas naturales, la generación de malos olores con su respectiva acumulación de insectos, la contaminación de las aguas subterráneas y un largo etcétera de inconvenientes.

Como se puede apreciar en las fotografías siguientes, la simbiosis con el medio ambiente de esta planta depuradora es absoluta, de igual manera, este SDN imita el proceso de los sistemas biológicos, químicos y físicos que trascurren en la naturaleza.



Imagen 4: -Sistema de Depuración Natural de humedales diseñado por José Luis Peraza-



Imagen 5: -Sistema de Depuración Natural de Masca diseñado por José Luis Peraza-

A partir de una entrevista al ingeniero Peraza, publicada en la Televisión Canaria, sobre el SDN de Masca podemos apreciar que este sistema consta de tres fases para convertir el agua residual en agua limpia y pura.

1. La primera fase corresponde al tratamiento previo de las aguas residuales provenientes de baños y cocinas, que como su propio nombre indica se trata de retirar los elementos que no han sido filtrados anteriormente, con el fin de evitar problemas en la segunda fase del proceso. En esta fase, las aguas pasan por la tanquilla de desbaste y son estas las que filtran todos los productos no orgánicos que hayan entrado a través de la red de saneamiento y que no puedan pasar al proceso de biodigestión, tales como toallas, plásticos o arena.
2. En la segunda fase, transcurre el paso del agua, ya tratada previamente en la primera fase, por el biodigestor. Es en este mecanismo donde se consumen todos los residuos orgánicos generados por la población de Masca en sus actividades agropecuarias y hosteleras, tales como restos de comida, papeles o aceites. Tras un proceso aeróbico del paso por el biodigestor se generan dos tipos de efluentes líquidos y gaseosos. Por un lado, encontramos los efluentes líquidos, que posteriormente pasarán a la tercera fase, y

por otro lado, se producen los efluentes gaseosos producidos por la fermentación del biodigestor, que son filtrados para ser descompuestos en CO^2 y vapor de agua

3. En la tercera fase se requiere el paso del agua contaminada por los humedales. Tres tipos distintos de humedales extraen los minerales del agua previamente tratada y biodigestada, con el fin de cumplir los estándares de la ley de vertidos. Los primeros humedales, plantados en base al cultivo hidropónico, es decir, sin presencia de tierra, inyectan oxígeno al agua resultante del biodigestor. Seguidamente, se procede al paso del agua por los segundos humedales, situados en una zona más baja, que tras filtrar el agua y recibir los nutrientes de la misma, llegan incluso a superar los dos metros y medio y presentan flores de gran colorido y vitalidad. Finalmente, en la tercera parte de esta fase, el agua circula por debajo del picón y encima hay sembradas plantas forrajeras que crecen a razón de más de un metro mensual y son utilizadas por los vecinos para alimentar a sus animales.

Al finalizar estas tres fases, se obtiene un agua de gran calidad, sin olores, limpia y transparente que cumple con la legislación pertinente, la cual exige que la demanda de oxígeno de la misma, en base al parámetro DQO (Demanda Química de Oxígeno) debe estar por debajo de 150 mg C/l, y la calidad de esta agua está de media tres veces por debajo de este indicativo. En el proceso, se eliminan los más de 40.000 agregados orgánicos que puedan estar en el agua residual, tales como plastificantes, medicamentos o pesticidas.

En el caso de la comarca de La Isla Baja, la plataforma defiende la instalación de un SDN, de modo que el agua podría ser empleada para paliar, en parte, los efectos devastadores de la extracción masiva de agua en los acuíferos del subsuelo canario, ya que se encuentran prácticamente agotados, por ejemplo, nutriendo a los plataneros de la zona, que son quienes se han visto más afectados por la escasez de agua. La instalación de este sistema de depuración natural contrarrestaría, en una proporción óptima, los efectos negativos del ósmosis de agua salada del mar y el agua dulce existente en algunos acuíferos isleños, como es el caso de la zona de Anaga, donde, tras extraer más agua dulce de la recomendable, el agua del mar que es más densa, ha penetrado generando la denominada ósmosis y contaminando los pozos de la zona.

Finalmente, a modo de resumen destacamos las principales características que hacen que este SDN proporcione cuantiosas ventajas, de gran beneficio para la sociedad y para el medio ambiente. Corresponden con los siguientes puntos:

1. En primer lugar, este sistema no produce malos olores ni acumulación de insectos, como ya se ha mencionado anteriormente, ya que en el caso de que se produjeran fugas de mal olor, solo podría deberse a algún fallo o avería.
2. En segundo lugar, cabe destacar que para el correcto funcionamiento de este SDN no es necesario que se consuma energía fósil, simplemente son necesarios algunos jardineros que se encarguen del mantenimiento.

3. Genera una huella de carbono nula o negativa, ya que las plantas inyectan oxígeno a la atmósfera. El único residuo resultante de este sistema es la biomasa generada, la cual es cortada y compostada, y sirve para nutrir los campos y cultivos de la zona.
4. Los habitantes o visitantes de Masca pueden hacer uso de las instalaciones de la depuradora, ya que no existe problema alguno en que acudan a visitar el mirador, hacer uso del forraje para alimentar a sus animales, e incluso, coger las flores. Por todo ello y por los beneficios que genera este sistema, tiene una gran acogida entre la población local.
5. Es más económica que cualquiera de los sistemas de depuración convencionales.

Para concluir, una vez analizados los distintos sistemas de depuración, conviene hacer mención al taller organizado por la Plataforma Los Silos-Isla Baja, en el que se presentó un estudio que propone el mejor sistema de depuración para la Comarca Isla Baja.

Este estudio de los sistemas de depuración para la Isla Baja se presentó el 12 de enero de 2019, al que acudieron unas 220 personas, incluidas autoridades municipales y concejales. Entre los autores del estudio encontramos a José Luis Peraza¹, Julio Muñoz², Abel Herrera³, Fátima Campos⁴ y Laura Montilla⁵. Entre las conclusiones en cuanto a la problemática encontrada expuestas en el taller, se aprecia la presencia de varios inconvenientes graves que requieren intervención inmediata tales como el agua residual vertida, sin ser tratada previamente, al mar y al medio terrestre, así como el no aprovechamiento del agua tratada, que es vertida al mar. Para ello, la Plataforma Los Silos-Isla Baja expuso que la propuesta del Consejo Insular de Aguas de Tenerife (CIATF) presentaba algunos puntos débiles, que fueron expresados a modo de resumen: dependencia de la energía fósil, grave impacto ambiental, altos costes de inversión o la generación de residuos como lodos contaminantes.

En dicho taller se concluyó a modo de resumen, que, en base al estudio realizado, el sistema a implementar en la comarca de la Isla Baja con mayor probabilidad de éxito para la gestión de las aguas residuales es el SDN, puesto que es un sistema que da respuesta a una propuesta de modelo viable y está basado en parámetros propios de la economía circular, tales como la generación nula de residuos, el ecodiseño o la huella de carbono neutra o incluso negativa. Según este estudio, la mejor propuesta es un modelo descentralizado y de gestión circular que comprenda el ciclo hidrológico completamente. Textualmente, en las conclusiones del taller se

¹ Tecnólogo especializado en energías, lleva más de veinte años desarrollando sistemas de depuración natural en el territorio nacional.

² Licenciado en CC Químicas y Físicas; profesor de Química Ambiental especializado en depuración de aguas y gestión ambiental.

³ Master en Arte, Territorio y Paisaje, Master en rehabilitación arquitectónica, organización y seguridad; licenciado en Bella Artes, Ingeniero de edificación, arquitecto técnico y ex-director del Parque Rural de Teno.

⁴ Doctora en Ingeniería del Terreno, Máster en Gestión y Auditoría ambiental y licenciada en CC Químicas.

⁵ Permacultora, Ingeniera de Obras Públicas, Máster en Sostenibilidad.

expone como propuesta: *“La incorporación de sistemas de depuración natural (SDN) de aguas residuales, ubicados en las inmediaciones de los núcleos poblacionales de generación de las mismas, aprovechando cotas para el funcionamiento de los sistemas por gravedad, o con energías renovables (fácilmente con energía solar y biogás), y reconduciendo el agua tratada a usos de limpieza urbana, almacenamiento para emergencia de incendios, o sumamente importante recarga del acuífero”.*

Como se puede apreciar, el resultado del taller concuerda con la defensa de la Plataforma del SDN como el sistema de depuración más adecuado para la Isla Baja y se opone al sistema MBR propuesto por el CIATF. Asimismo, se expusieron varios ejemplos, como el SDN implantado en Masca, en funcionamiento de modelos circulares y descentralizados *“con la finalidad de ofrecer a la comarca la mejor de los posibles sistemas de gestión del agua que hoy es viable y predeciblemente exitoso, para resolver los problemas actuales y generar el mejor escenario futuro posible a las futuras generaciones”* entre los que se encontraba el SDN de Masca del ingeniero Peraza.

Según la entrevista a Roberto Hernández y a la Plataforma Los Silos-Las Isla Baja, se ha procedido a realizar una comparativa entre ambos sistemas MBR y SDN, teniendo en cuenta que ambas presentan el mismo resultado en cuanto a la filtración de aguas:

1. Inexistencia de impacto medioambiental del SDN, debido a la integración con la naturaleza en base a pequeñas depuradoras naturales que se funden con el marco natural, mimetizadas con el entorno natural.
2. Inexistencia de olores e insectos en SDN, no sucediendo lo mismo con el MBR.
3. El sistema MBR es intensivo, centralizado e industrial, por tanto, requiere de la necesidad de desplazamiento de aguas de un municipio a otro, mientras que SDN es extensivo y descentralizado.
4. La canalización del SDN es mucho más simple, en base a caída vertical y de menos longitud. Es cierto que existe necesidad de bombear aguas residuales en algunos puntos, pero no es menos cierto que gracias a la descentralización, la canalización por medio de tuberías sería mucho menor en comparación con el MBR. Asimismo, aquellos lugares que requieran bombeo de aguas, podrán ser apoyados por aerogeneradores.
5. MBR genera composta o compós en forma de lodo contaminante de difícil tratamiento, mientras que SDN no genera dichos residuos.
6. El mantenimiento del SDN es casi nulo, puesto que se simplifica al mantenimiento de las plantas con algunos jardineros que las cuiden. El MBR requiere del mantenimiento de la planta industrial, así como de las tuberías pertinentes por personal de alta cualificación.

7. El coste energético del SDN y la huella ecológica, que es un indicador que relaciona la capacidad ecológica del planeta para generar los recursos que han sido demandados por el impacto ecológico del ser humano, es nula, e incluso negativa, ya que se emplea energía solar mediante placas, únicamente en los casos en los que se necesite acelerar el proceso de biodigestión de las bacterias. Además, mediante ese proceso de biodigestión se emiten gases que se pueden emplear como combustible. En contraposición al elevado coste energético, empleando combustibles fósiles, que supone el MBR.
8. Posibilidad de adaptar el SDN a poblaciones mayores. Pese a estar implementado únicamente en lugares de baja población, el ingeniero Peraza afirma que es un sistema completamente adaptable a poblaciones grandes, pero que lo ideal es descentralizar para evitar canalizaciones excesivas y para poder mimetizar las depuradoras naturales con el entorno y reducir así el impacto visual. El proyecto de depuradora natural, según Peraza: *“tiene un consumo energético bajo y autosuficiente, cumple con los 16 objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, no genera olores ni ruidos, tampoco vertidos al mar, es resiliente, tiene una huella de carbono baja y favorece la economía colaborativa”*. A modo de definición, la huella de carbono es un indicador que muestra los gases invernadero generados directa o indirectamente por el ser humano.
9. Cumplimiento del parámetro de control de calidad de hortalizas para el regadío de las hortalizas más sensibles, por ejemplo, la lechuga, con el uso del agua resultante del SDN, según un estudio realizado por la Universidad de La Laguna. Por tanto, en base a este estudio, podemos concluir que el agua resultante del Sistema de Depuración Natural es de calidad alta para el regadío. Bien es cierto, que ni el Sistema de Depuración Natural que se plantea en este trabajo, ni el proceso industrial de MBR erradicarían completamente el problema de la escasez de agua de la agricultura. Por tanto, cabe destacar que ambos sistemas distan de ser desalinizadoras, cuyo fin es convertir agua salada en agua dulce, sino que más bien, su objetivo principal es evitar el vertido de aguas contaminantes al mar y evitar los emisarios, y como objetivo secundario, emplear el agua resultante para abastecer a la agricultura, jardines, limpieza de calles y, sobre todo, para apagar los incendios. De este último uso del agua, se resolvería un grave problema en el archipiélago, ya que, tras el creciente número de incendios acaecidos en las islas, como medida urgente se ha llegado a emplear agua del mar, sin pararse a reparar en los efectos secundarios que ello conlleva para la Laurisilva y los Pinares Canarios. Evidentemente lo primordial es apagar el fuego y salvar toda la fauna y flora posible, pero no deja de ser evidente que emplear agua salada como remedio urgente es, cuanto menos, cuestionable.

Existen documentos, tales como “The Economics of Wastewater Treatment Decentralization: A Techno-economic Evaluation” que avalan como mejor y más eficiente la descentralización de los sistemas de depuración y que rechazan la integración de los mismos en base a una serie de parámetros técnicos.

Para finalizar, cabe destacar otros lugares dónde se ha implementado el Sistema de Depuración Natural similar al de Masca, como es el caso de Fabara, un pequeño pueblo de Zaragoza que se desvinculó del Plan Hidrológico de Aragón, el cual pretendía imponer una depuradora industrial tipo MBR, ya que un pueblo cercano había aceptado e instaurado esta depuradora industrial y había tenido problemas con olores y mosquitos. Finalmente, Fabara estableció un Sistema de Depuración Natural similar al de Masca que, a día de hoy, sigue funcionando sin problema alguno.



Imagen 6: -SDN de Fabara, Zaragoza-

5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS DOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO PROPUESTOS PARA LA ISLA BAJA

En este apartado se realiza un análisis comparativo a nivel económico de la propuesta del CIATF para la comarca isla baja y la alternativa que propone la plataforma Los Silos-Isla Baja. Lo que buscamos con este análisis es determinar cuál de los dos sistemas de depuración es el más eficiente. Centrándose en los aspectos relevantes de ambas propuestas, dejando a un lado los resultados de que puedan ser similares.

Antes es preciso definir lo que se considera proceso más eficiente para este análisis.

En el trabajo de Hernández Sancho et al. (2010) definen lo que consideran proceso más eficiente como: “Aquel minimice el consumo de inputs y la generación de outputs no deseables. Buscando con esto la maximización de outputs deseables”. En nuestro caso definiremos estos como:

- ❖ Inputs. Los inputs necesarios a estudiar son:

Consumo energético. Medido en kilovatios por hora (kW/h).

Inversión monetaria a realizar. En este caso solamente tendremos en cuenta la inversión inicial necesaria para la realización de proyecto, medida en euros (€).

Agua reutilizable. El agua reutilizable la debemos considerar otro coste a tener en cuenta (coste de oportunidad). El agua depurada que va para al mar en lugar de ser reutilizada con fines de riego agrícola o de recarga de acuíferos debe cuantificarse como un gasto/desaprovechamiento de recursos ambientales, más aun, teniendo en cuenta su escasez.

- ❖ **Outputs No Deseables.** En este caso solamente analizamos 2 variables:

Las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera. Debido a que un sistema necesita de energía eléctrica para su funcionamiento y el otro no (SND), debemos considerar este consumo energético a su vez como un output no deseable.

Vertidos al mar de lodos y salmuera. Los lodos consisten en una mezcla de agua y sólidos separada del agua residual, como resultado de algunos procesos de depuración. Con respecto a la salmuera se trata de agua con una alta concentración de cloruro de sodio (NaCl).

- ❖ **Outputs Deseables.** Se trata de la calidad del agua que se obtiene tras el proceso de depuración. En ambos sistemas el agua depurada que se obtiene es de gran calidad, es por eso que este output no lo tendremos en cuenta a la hora de realizar el análisis comparativo.

A continuación, se muestra en la Tabla 8, a modo resumen, una comparativa de las variables a analizar entre el Sistema Biorreactor de Membranas (MBR) y el Sistema de Depuración Natural de Biodigestión.

Los datos de esta tabla se han obtenido del documento final resultante del Taller celebrado el 12 de enero de 2019 en Los Silos, con el objetivo de mejorar la depuración del agua en la comarca Isla Baja. El cual contó con la participación de diferentes expertos en materia de energía, agua, residuos, sistemas de depuración, sostenibilidad, entre otros.

Este análisis comparativo ha sido realizado bajo los supuestos de misma cantidad de agua depurada anual y por el equivalente a un mismo tamaño de planta en ambos sistemas.

Según el estudio propuesto en el documento del Plan Hidrológico de Tenerife y tomando como referente el modelo implantado en Buenavista (parque rural de Teno), se estima que se necesitan una treintena de unidades de depuración natural para una población total de unos 15.000 habitantes, lo que vendría a ser unas diez unidades por cada uno de los tres municipios de la Comarca Isla Baja, en función de su distribución poblacional. El coste total de estas instalaciones, incluyendo Buenavista, estaría en torno a 7 millones de euros.

Para la comparación de ambos sistemas hemos tenido en cuenta que treinta unidades de depuración equivaldrían a la planta MBR centralizada para los tres municipios. Para el cálculo del coste total ha sido incluido el coste de las instalaciones actuales de Buenavista.

Tabla 7. Análisis comparativo del sistema MBR con el sistema de Biodigestión

	Variable	MBR	Biodigestión
	Coste total (€)	14.000.000	7.000.000
Inputs	Consumo energético (kWh)	500	Muy bajo
	Agua reutilizable (m ³ /día)	960	0
Outputs No Deseables	Emisión CO ₂ (t/año)	13500	Muy bajo
	Vertidos al mar (m ³ /h)	38	0

Fuente: Elaboración propia

El coste total hace referencia a la cantidad de euros que se necesita invertir para llevar a cabo cada proyecto. Como podemos observar, la elección del Sistema de Biodigestión supondría un ahorro de 7 Millones de euros (50% de ahorro del MBR) de inversión inicial, que podrían emplearse en completar las redes de saneamiento municipal, así como atender particularidades en edificaciones aisladas.

El consumo energético del Sistema de Biodigestión es muy bajo, aproximadamente nulo, solamente precisa en momentos puntuales para acelerar el proceso de biodigestión de las bacterias, abasteciéndose de energía solar mediante placas, mientras que el MBR consume 500 kilovatios por hora, dando lugar un coste energético de 0,52 KW/m³ de agua regenerada.

En cuanto a la cantidad de vertidos al mar volvemos a destacar que el Sistema de Biodigestión no produce vertidos al mar, mientras el MBR vierte 38 metros cúbicos en una hora.

Las emisiones de CO₂ son muy bajas, considerándose neutras, pudiendo llegar a ser positivas, debido al uso del CO₂ por parte de las plantas, y emisión de oxígeno a la atmósfera. Por el contrario, el sistema MBR emite al año la enorme cifra de 13.500 toneladas a través de su consumo de energía fósil.

En cuanto al otro input restante, agua reutilizable, se debe imputar como un coste de oportunidad para el sistema MBR ya que se podrían ahorrar 960m³/día de agua, que podrían reutilizarse para riego o recarga de acuíferos. De esta forma se cumpliría con el ciclo del agua, fomentando una economía circular, en lugar de verter ésta al mar.

Además de estas variables a nivel cuantitativo, debemos considerar otras más cualitativas pero que influyen directamente en la economía de la comarca. Estas variables son más difíciles de estimar con precisión y necesitan un estudio de mayor profundidad de cara a estudiar su impacto en el largo plazo.

- Generación de empleo.

El sistema propuesto por el CIATF requiere de empresas especializadas, con equipos y personal altamente cualificados en esta tecnología. Generando un alto gasto de mantenimiento, pero no empleo para la población local. Por otro lado, el SDN propuesto por la plataforma necesita para su

funcionamiento un nivel técnico municipal y simples trabajos de jardinería, por lo que puede ser gestionada por operarios locales, quedándose este gasto en la comarca.

- Impacto ambiental.

Mientras que la tecnología MBR rompe con la armonía del espacio natural de la comarca, necesitando grandes construcciones industriales, el Sistema de Biodigestión tiene un impacto ambiental constructivo a través del uso de plantas, evitando bombeos, construcción de tuberías, etc.

- Recurso educativo.

Otro factor muy importante a tener en cuenta es concienciar a la población de la importancia de cuidar y conservar el medio ambiente. Una manera muy eficaz para hacerlo es a través de infraestructuras naturales. A través de este sistema los ciudadanos pueden aprender la importancia de usar el agua con conciencia y los usos que puede darse a esta agua una vez depurada.

6. CONCLUSIONES

El problema de depuración en Canarias es muy importante. Canarias es la Comunidad Autónoma que menos volumen de agua residual depurada por habitante y día de toda la geografía española. El 77,9% de sus aguas residuales tratadas, lo que supone un 40% más que la media nacional. El lodo resultante de la depuración de aguas a la agricultura, silvicultura ni jardinería, y deja únicamente un 9,6% para la incineración y/o el aprovechamiento energético, mientras que envía un 90,4% al vertedero.

La capacidad de depuración por habitante actualmente instalada en la mayoría de las islas es insuficiente a día de hoy para cubrir la totalidad de la población, ya que tan solo dos de las siete islas estudiadas por el PHT (2015-2021) tienen un ratio de capacidad de depuración por habitante superior a la unidad.

Concretamente en la isla de Tenerife el servicio de saneamiento presenta un desarrollo todavía bastante limitado respecto a la media de la Comunidad Autónoma teniendo la capacidad de depuración instalada por población de las más bajas de la Comunidad Autónoma situándose la media de las islas en 0,94.

En este TFG se realiza un análisis económico de los dos sistemas de depuración propuestos para la comarca Isla-Baja, debido a la problemática anteriormente mencionada, evaluando variables cuantitativas y cualitativas de gran importancia. Se ha determinado que el SDN de Biodigestión es el más idóneo para la comarca isla-baja, en lugar de la propuesta del CIATF, un sistema MBR.

Todos estos datos anteriormente mencionados son alarmantes, nuestra comunidad autónoma vive principalmente del turismo, gran parte de este es rural ya que el mayor atractivo de nuestras islas

son sus aguas y paisajes. Debemos buscar soluciones a estos problemas cuanto antes, y la solución propuesta a la comarca Isla-Baja puede trasladarse a otras partes de las islas.

La propuesta de la Plataforma Los Silos-Isla Baja, como se ha ido relatando a lo largo del presente documento, propone una descentralización de los sistemas de depuración para la Comarca Isla baja, apoyándose en métodos naturales de saneamiento de las aguas residuales de los tres municipios.

En resumen, el Sistema de Biodigestión propuesto por la plataforma es más barato, contamina menos, tiene un impacto ambiental menor, generará empleo local y permite concienciar a la población.

Finalmente, cabe destacar que quedan líneas de investigación abiertas, así como análisis más exhaustivos que estudian los sistemas de depuración propuestos para la comarca, tales como el análisis coste-beneficio.

7. BIBLIOGRAFÍA

Hernández-Sancho, F., Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2010). Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio. *Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. Rect@*, 11, 1–25.

Moreno Merino, L. (2003). Los métodos naturales de depuración de aguas residuales urbanas. In L. Moreno Merino, M. A. Fernández Jurado, J. C. Rubio Campos, J. M. Calaforra Chordi, J. A. López Geta, J. Beas Torroba, . . . J. A. Gómez López (Eds.), *La depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno* (pp. 13–27). Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

Garrido Baserba, M; Vinardell, S; Molinos-Senante, M; Rosso, D; Poch, M. (2018). The Economics of Wastewater Treatment Decentralization: A Techno-economic Evaluation. *Environmental Science and Technology*.

Rajasulochana, P; Preethy, V. (2016). Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage wáter. *Resource-Efficient Technologies*, Volume 2, Issue 4, December 2016,

Campos, F; Peraza, J.L; Muniz, J; Herrera, A; Montilla, L.(2019). Descubriendo el mejor sistema de depuración para La Isla Baja.

Plan Hidrológico de Tenerife. Cabildo de Tenerife. Consejo Insular de Aguas de Tenerife. (Ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021)

Hernández Muñoz Aurelio. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. Colección Señor N°9 CICCIP, Madrid, 1997

Webgrafía:

Manuel Planelles, M. P. (2019, 15 junio). La falta de depuración del agua le ha costado ya a España 22 millones. Recuperado 5 septiembre, 2019, de:

https://elpais.com/sociedad/2019/06/14/actualidad/1560534706_539717.html

Cillero, M. (2016, 4 diciembre) - manuel.cillero.es. Recuperado 8 septiembre, 2019, de:

<https://manuel.cillero.es/doc/metrica-3/tecnicas/analisis-coste-beneficio/>

Nuche Gálvez, P (2018, 10 agosto). es.greenpeace.org. Clausuramos tres playas contaminadas en Tenerife. Recuperado de:

<https://es.greenpeace.org/es/noticias/clausuramos-cuatro-playas-contaminadas-en-tenerife/>

Rejón, R. (2018). Eldiario.es: https://www.eldiario.es/sociedad/Espana-pagara-multas-depuracion-residuales_0_837816483.html

Pinelo, D. (2019). DauteDigital: <https://dautedigital.es/2019/07/el-pacto-cc-pp-en-el-cabildo-impulsara-la-depuracion-comarca/>

Pinelo, D. (2017). DauteDigital: <https://dautedigital.es/2017/04/jose-luis-peraza-vende-la-depuracion-natural-para-la-isla-baja/>

Europa Press (2017). Tenerife vierte al mar 57 millones de litros de agua al día sin depurar. Recuperado 5 septiembre, 2019, de <https://www.europapress.es/islas-canarias/noticia-tenerife-vierte-mar-57-millones-litros-agua-dia-depurar-20170726182244.html>

G. García, E. Huete, A. Torres, L.C. Martínez. (2014). Aguas industriales: <http://aguasindustriales.es/depuracion-de-aguas-residuales-industriales-mediante-tecnologia-mbr/>

Tuset, S. (2019). salmueras | tratamiento de aguas residuales: <https://blog.condorchem.com/tag/salmueras/>

Gobierno de España. Ministerio para la transición ecológica: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/lodos-depuradora/>

Canarias2punto0 [Archivo de vídeo]. (2016, 9 julio). Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=HfXCuKNMRok>

Pedro, I. Yacutec: (http://www.yacutec.com/tecnologias-depuracion/tecnologias-depuracion_biorreactor-de-membrana.asp)

Cabildo de Tenerife. CIATF. (2017) : https://www.aquastenerife.org/index.php?option=com_content&view=article&id=205:el-cabildo-y-el-ayuntamiento-de-icod-avanzan-en-la-mejora-del-abastecimiento-y-saneamiento-municipales-15&catid=91&Itemid=1207

Gobierno de Canarias (12 de julio de 2018). Estudio Impacto Económico del Turismo Santa Cruz de Tenerife (IMPACTUR). Recuperado de:

<https://www.exceltur.org/wp-content/uploads/2018/07/IMPACTUR-Canarias-2017-julio-2018-.pdf>