

EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE LANZAROTE DE 2018 A 2022

IDAIRA RAMÍREZ TORIBIO
TRABAJO DE FINAL DE CARRERA
GRADO EN CONTABILIDAD Y FINANZAS



Universidad
de La Laguna

TUTORA: JUDIT MENDOZA AGUILAR
FACULTAD DE ECONOMÍA, EMPRESA Y TURISMO

ÍNDICE:

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
1. CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR Y NORMATIVA APLICABLE	8
1.1. ¿QUÉ ES LA ECONOMÍA CIRCULAR?	8
1.2. MARCO REGULATORIO	8
1.2.1. Contexto normativo europeo	8
1.2.2. Contexto normativo español	10
1.3. BARRERAS PARA LA TRANSICIÓN A UNA ECONOMÍA CIRCULAR...11	
1.3.1. Barreras Tecnológicas	12
1.3.2. Barreras Económicas	12
1.3.3. Barreras Institucionales	13
1.3.4. Barreras Culturales	13
1.4. IMPORTANCIA DE LA DIGITALIZACIÓN	13
2. NORMATIVA Y ROL DE LAS DEPURADORAS EN LA TRANSICIÓN A UNA ECONOMÍA CIRCULAR	15
2.1. ROL DEL AGUA EN LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	15
2.2. NORMATIVA EUROPEA RELACIONADA CON EL TRATAMIENTO DEL AGUA.....	16
2.2.1. Beneficios e inconvenientes del Reglamento Europeo 2020/174.....	17
2.2.2. Objetivos de la Directiva 86/278/CEE	17
2.2.3. Paradigma N-E-W y Economía Circular.....	18
2.3. EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA.....	18
3. MÉTRICAS E INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR	19
3.1 PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR	20
3.2. TIPOS DE MÉTRICAS.....	21
3.2.1. Métricas Medioambientales	21
3.2.2. Métricas Económicas	22
3.2.3. Métricas Sociales	23
3.2.4. Métricas Técnicas	24
3.3. INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR.....	24
3.3.1 Uso Eficiente del Agua	25
3.3.2 Reducción de Residuo	25
3.3.3 Eficiencia Energética	26
3.3.4 Participación Comunitaria	27

4. CASO PRÁCTICO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LA ISLA DE LANZAROTE.....	27
4.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO.....	28
4.2. CÁLCULO Y DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES.....	28
4.2.1. Uso Eficiente del Agua	30
4.2.2. Reducción de Residuos	31
4.2.3. Eficiencia Energética	33
4.2.4. Participación Comunitaria	34
4.3. ANÁLISIS DE LOS ESTADOS INGRESOS-GASTO EN RELACIÓN CON LOS INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR	35
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXO 1: BASE DE DATOS.....	40
ANEXO 2: ESTADOS DE INGRESOS Y GASTOS.....	41

ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Normativa Europea del tratamiento del agua.	14
Tabla 2. Principios de la economía circular y qué debe medirse para supervisar la circularidad de los productos de base biológica.	18
Tabla 3. Indicadores a calcular con datos del agua de Lanzarote	28
Figura 1. Depuradoras de la isla de Lanzarote	28
Gráfico 1. Porcentaje de agua reciclada	30
Gráfico 2. Índice de eficiencia en el uso del agua	30
Gráfico 3. Tasa de pérdida de agua	31
Gráfico 4. Porcentaje de reducción de residuos	31
Gráfico 5. Porcentaje de generación de residuos según tipo	32
Gráfico 6. Porcentaje de residuos sobre agua reciclada	33
Gráfico 7. Ahorro de energía	33
Gráfico 8. Porcentaje población participante	34
Gráfico 9. Toneladas de residuos generados por participante	34
Tabla de datos para el indicador “uso eficiente del agua”.	40
Tabla de datos para el indicador “reducción de residuo”.	40
Tabla de datos para el indicador “eficiencia energética”.	40
Tabla de datos para el indicador “intensidad energética”.	40
Tabla de datos para el indicador “participación comunitaria”.	40

RESUMEN

En un contexto global de transición energética unida a la transición digital para hacer frente al cambio climático, en este estudio se hace un análisis económico basado en un modelo de producción y consumo de Economía Circular concreto: el tratamiento de aguas de la isla de Lanzarote. Se expondrán una serie de indicadores que serán calculados a partir de una base de datos de elaboración propia con datos reales obtenidos a través del Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote para observar y valorar el progreso y tendencia de las plantas depuradoras de agua de la isla desde el año 2018 al año 2022, comparando los resultados obtenidos a partir de ellos con los Estados de Gastos e Ingresos publicados por el Consorcio del Agua de Lanzarote, evidenciando así la importancia de inversión en modelos e infraestructuras basados en Economía Circular para lograr beneficios como el ahorro tanto energético como económico en el proceso de depuración del agua.

PALABRAS CLAVE: Economía Circular, Lanzarote, Agua, Depuradoras, Indicadores, Inversión, ODS 6 (Agua limpia y saneamiento).

ABSTRACT

In a global context of energy transition coupled with the digital transition to address climate change, this study makes an economic analysis based on a specific Circular Economy production and consumption model: the water treatment of the island of Lanzarote. A series of indicators that will be calculated from a database of our own elaboration with real data obtained through the Data Center of the Cabildo de Lanzarote will be presented to observe and assess the progress and trend of the water treatment plants of the island from 2018 to 2022, comparing the results obtained from them with the Income and Expenditure Statements published by the Water Consortium of Lanzarote, thus showing the importance of investing in models and infrastructures based on Circular Economy to achieve benefits such as energy and economic savings in the water purification process. comparing the results obtained from them with the Income and Expenditure Statements published by the Water Consortium of Lanzarote, thus showing the importance of investing in models and infrastructures based on Circular Economy to achieve benefits such as energy and economic savings in the water purification process.

KEY WORDS: Circular Economy, Lanzarote, Water, Wastewater Treatment Plants, Indicators, Investment, SDG 6 (Clean water and sanitation).

INTRODUCCIÓN

El tratamiento del agua es un proceso en el que se producen muchos residuos y se pierde mucha cantidad de agua desde que entra a la planta hasta que sea apta para el consumo. En concreto, en la isla de Lanzarote el agua es de vital importancia debido a la escasez de la misma por el clima en Canarias, es por ello que, sobre todo en las islas de Lanzarote y Fuerteventura, se han desarrollado muchos sistemas de aprovechamiento del agua; aún así, no es suficiente para hacer frente a la gran escasez de recursos hídricos sufrido por estas islas, teniendo que recurrir a la desalación y reutilización de aguas depuradas, siendo Lanzarote la isla más dependiente de estos sistemas de gestión y producción de agua, como expone el Informe de Coyuntura 2008, Marín Cabrera et al (2008). Además, uno de los principales problemas a los que debemos hacer frente en la actualidad es el cambio climático, tal como se puede observar en el Pacto Verde Europeo del año 2020 yendo de la mano de una transición tanto energética como digital, siendo la Economía Circular el modelo económico más acorde para ello, ya que se basa en el ahorro y reutilización siendo aprobado en España el plan de acción “España Circular 2030” en junio de 2020.

El objetivo principal de este Trabajo es el estudio de los indicadores relacionados con Economía Circular aplicados en el caso de tratamiento del agua en la isla de Lanzarote, llevando a cabo un análisis económico con los Estados de Gastos e Ingresos publicados en el Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote desde el año 2018 al año 2022 y comparándolo con una serie de métricas e indicadores calculados con datos reales a lo largo del mismo periodo. Es por ello, que en este TFG está directamente relacionado con los siguientes ODS: 3. Salud y bienestar, 6. Agua limpia y saneamiento, 12. Producción y consumo responsables, 7. Energía asequible y no contaminante, y, por último, 11. Ciudades y comunidades sostenibles.

Los objetivos específicos serán: **1.** Establecer el marco teórico del concepto de Economía Circular, exponiendo su normativa a nivel europeo y nacional vigente en la actualidad y relacionada directamente con el tratamiento de aguas y una descripción de las barreras para su implantación, **2.** Identificación de los indicadores de economía circular existentes en la literatura, y **3.** Demostrar la relación directa entre aumento de la inversión en infraestructuras con la mejora de los indicadores de Economía Circular en el caso de las depuradoras de la isla de Lanzarote.

La metodología empleada en este Trabajo de Fin de Grado consiste en una previa revisión bibliográfica y en la elaboración de una Base de Datos a partir de la consulta del Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote del año 2018 al año 2022 extrayendo las variables disponibles necesarias para poder calcular los indicadores de Economía Circular.

El Trabajo se divide en cuatro capítulos: un primer capítulo en el que se define qué es la Economía Circular y cuál es su marco normativo Europeo y Nacional para lograr la transición a una Economía Circular, además, de la identificación de las barreras ante las que se encuentra la implantación de este modelo económico; en el segundo capítulo se expone la importancia que tiene el tratamiento de aguas en esta transición y el papel de la tecnología en el logro de este objetivo; en el tercer capítulo se recopilan algunas las métricas e indicadores de la Economía Circular y por último, en el cuarto capítulo, se desarrolla el cálculo de estos indicadores aplicados al caso concreto de la isla de Lanzarote entre los años 2018 y 2022 en función a la Base de Datos elaborada a partir del Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote.

1. CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR Y NORMATIVA APLICABLE

En este capítulo se abordará la definición de Economía Circular y sus dificultades a la hora de definirla, además de la normativa aplicable tanto a nivel europeo como en España. La Economía Circular es un concepto que cobra cada vez más importancia en la actualidad, siendo la transición a un sistema económico circular uno de los principales objetivos de la Unión Europea (en adelante UE) para años futuros. A pesar de su importancia, a la hora de llevar a cabo la transición a una economía con estas características existen una serie de barreras que también se estudiarán en el último punto de este capítulo.

1.1. ¿QUÉ ES LA ECONOMÍA CIRCULAR?

A la hora de definir qué es la economía circular (en adelante EC) no existe un consenso entre los expertos sobre la interpretación de la misma, esto se produce, según señalan Grafstrom y Aasma (2021) debido a que las definiciones existentes son muy amplias al ser un concepto que incluye todas las actividades que se llevan a cabo en la sociedad. Los mencionados autores hacen una revisión de la literatura siendo el enfoque holístico la principal característica que aparece en la mayoría de las definiciones, pues la EC busca crear una especie de bucle circular de flujos de materiales, energía y residuos que abarque todas las actividades sociales. Así construyen la siguiente definición: "La economía circular es un sistema económico que representa un cambio de paradigma en la forma en que la sociedad humana se interrelaciona con la naturaleza y tiene como objetivo prevenir el agotamiento de los recursos, cerrar los bucles de energía y materiales, y facilitar el desarrollo sostenible a través de su implementación a nivel micro (empresas y consumidores), meso (agentes económicos integrados en simbiosis) y macro (ciudad, regiones y gobiernos). Alcanzar este modelo circular requiere innovaciones medioambientales cíclicas y regenerativas en la forma en que la sociedad legisla, produce y consume" (Grafstrom y Aasma, 2021, p. 610).

El concepto de EC comenzó a aparecer en la literatura a partir de la década de los 60, con autores como Boulding (1966) o más adelante Stahel en 1981; desde entonces ha seguido debatiéndose a lo largo del tiempo hasta la actualidad, como tema que recibe cada vez más atención, debido principalmente a los supuestos beneficios que este sistema económico tendría para el desarrollo sostenible (Kirchherr et al., 2018).

1.2. MARCO REGULATORIO

1.2.1. Contexto normativo europeo

En este apartado se explican las distintas acciones implementadas por la UE para la transición a una EC, agrupadas en:

- “Economía Circular, Cerrando el Ciclo”, en el año 2015.
- “Estrategia de financiación sostenible renovada”, en el año 2018.

- “Pacto Verde Europeo”, en el año 2020.

En el primer plan que adoptó la UE en 2015, se incluyeron una serie de medidas cuya finalidad era lograr una transición a una economía circular, lograr impulsar la competitividad mundial de la UE, fomentar el crecimiento económico sostenible y crear nuevos puestos de trabajo. Dichas medidas abarcaban desde la producción y el consumo de los productos, hasta la gestión de los residuos generados por los mismos, incluyendo una propuesta legislativa sobre residuos. El 4 de marzo de 2019 la Comisión Europea publica un informe donde se detallan los logros alcanzados gracias a la implementación de este plan de acción y los principales desafíos a los que se enfrentará en un futuro, buscando facilitar esta transición a una economía climáticamente neutra. Se completaron un total de 54 acciones, es decir, todas las acciones propuestas, siendo algunas de ellas las siguientes:

- Gestión de residuos: propuestas legislativas para aumentar el reciclaje y reducir el vertido de residuos municipales, mejorar los sistemas de recolección y clasificación de desechos o la simplificación del sistema de cálculo de las tasas de reciclaje.
- De residuos a recursos, potenciando el mercado de materias primas y la reutilización del agua: desarrollando estándares de calidad para las materias primas secundarias (plásticos principalmente), la propuesta de un reglamento de la UE revisado sobre fertilizantes para apoyar el papel de los bionutrientes en la EC o una propuesta legislativa sobre los requisitos mínimos para el agua reutilizada.

En el año 2018 surge la “Estrategia de financiación sostenible renovada” que lleva consigo la implementación de un plan de acción sobre la financiación del crecimiento sostenible. En concreto, busca conectar todavía más las finanzas con la sostenibilidad, incluyendo una serie de acciones clave que se dividen en las siguientes categorías:

- 1. Reorientar los flujos de capital hacia una economía más sostenible:** para este fin se propone establecer una taxonomía clara y detallada de la UE, fomentando la inversión en proyectos sostenibles, crear una guía estándar de bonos verdes de la UE, incorporar la sostenibilidad en el asesoramiento financiero o desarrollar puntos de referencia de sostenibilidad.
- 2. Integración de la sostenibilidad en la gestión de riesgos:** integrando la sostenibilidad en las calificaciones e investigaciones de mercado, aclarando la función que han de desempeñar los/as administradores/as de activos e inversores en cuanto a la sostenibilidad e introduciendo un “factor de apoyo verde” en las normas prudenciales de la UE para bancos y compañías de seguros.
- 3. Fomentar la transparencia y el largo plazo:** para ello, se buscará fortalecer la divulgación de la sostenibilidad y se elaborarán una serie de normas contables, además de fomentar un gobierno corporativo sostenible y atenuar el cortoplacismo en los mercados secundarios.

Por último, el más reciente plan de acción hacia la sostenibilidad recibe el nombre de “Pacto Verde Europeo”, cuyo fin principal es proteger el medio ambiente y hacer que los ciudadanos se beneficien de los cambios positivos que genera la economía circular. En concreto, sus objetivos principales son: llegar a ser el primer continente climáticamente neutro en 2050, lograr reducir en al menos un 55% las emisiones netas de gases de efecto invernadero en comparación con las de 1990 para 2030 y plantar unos 3 mil millones de árboles en la UE para ese mismo año.

Algunos ejemplos de estas iniciativas propuestas para lograr los objetivos señalados anteriormente y la manera en que se llevarán a cabo en los distintos sectores son los siguientes:

- Electrónica y TIC: intentar que los productos comercializados estén diseñados de forma que sean más duraderos y sean más fáciles de reparar o reutilizar ofreciendo incentivos al “producto como servicio”, siendo las empresas quienes posean la propiedad y responsabilidad del producto durante su ciclo de vida.
- Productos textiles: menos del 1% de todos los productos textiles del mundo se reciclan para elaborar otros productos nuevos, por tanto, se busca impulsar nuevos modelos de negocio que estimulen la reutilización y el reciclado de estos productos.
- Plásticos: se pretende eliminar los productos de un solo uso progresivamente, sustituirlos por aquellos de uso múltiple y actuar contra los microplásticos restringiendo el uso de aquellos que son añadidos en el ciclo de vida del producto.
- Alimentos y envases: se busca sustituir los envases y otros artículos de un solo uso, como cubiertos de plástico, por productos reutilizables, proponiendo nuevas iniciativas legislativas de reutilización.
- Residuos: cada ciudadano produce alrededor de media tonelada de residuos urbanos al año, por ello, se tomarán medidas para prevenir y disminuirlos aumentando el contenido reciclado y reduciendo las exportaciones de residuos fuera de la UE.

1.2.2. Contexto normativo español

En España, la Estrategia de Economía Circular que se ha impulsado recibe el nombre de “España Circular 2030” (en adelante EC2030), siendo el primer y único plan de acción aprobado por el Consejo de Ministros en junio de 2020 y cuyos objetivos concuerdan con los de la estrategia implementada por la UE. Dicha estrategia se alcanzará a través de sucesivos planes de acción cada tres años que permitirán incorporar ajustes que sean necesarios y se culminará en 2030. Los objetivos cuantitativos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

- Reducir en un 30% el consumo nacional de materiales en relación con el PIB, siendo el 2010 el año de referencia.
- Reducir la generación de residuos un 15% respecto a lo generado en 2010.
- Reducir la generación de residuos de alimentos en toda la cadena alimentaria: 50% de reducción per cápita a nivel hogar y consumo minorista y un 20% en las cadenas de producción y suministro a partir del año 2020.
- Incrementar la reutilización y preparación de residuos municipales generados un 10%.
- Mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua.
- Reducir la emisión de gases de efecto invernadero por debajo de los 10 millones de toneladas de CO2 equivalente.

La estrategia EC2030 identifica como sectores prioritarios de actividad en los que incorporar estas iniciativas en España a los siguientes: (1) sector de construcción, (2) el agroalimentario, pesquero y forestal, (3) el industrial, (4) el de bienes de consumo y turismo y por último, (5) el de textil y confección.

Debido al marco normativo con el que se va a comparar el avance de esta Estrategia con respecto al resto, los indicadores extraídos de la EC2030, corresponden con los seleccionados a instancias europeas. Estos indicadores son:

- **Producción y consumo:** autosuficiencia de materias primas, la contratación pública ecológica, generación de residuos y residuos alimentarios generados.
- **Gestión de residuos:** tasas globales de reciclajes y tasas de reciclado específicas de flujos de residuos.
- **Materias primas secundarias:** contribución de los materiales reciclados a las demandas de materias primas y comercio de materias primas reciclables.
- **Competitividad e innovación:** inversiones privadas, empleo y valor añadido bruto y patentes relacionadas con la gestión de residuos.
- **Emisión de gases de efecto invernadero.**

1.3. BARRERAS PARA LA TRANSICIÓN A UNA ECONOMÍA CIRCULAR

Las principales barreras identificadas en la literatura para la transición a una Economía Circular, se pueden dividir en cuatro categorías: barreras

tecnológicas, barreras económicas, barreras institucionales y barreras culturales (Grafstrom y Aasma, 2021). Otros expertos emplean en su lugar las otras denominaciones. Por ejemplo, según Kirchherr et al. (2018): barreras tecnológicas, barreras de mercado, barreras regulatorias y barreras culturales. A continuación se describen los 4 tipos de barreras dando ejemplos:

1.3.1. Barreras Tecnológicas

Al hablar de barreras tecnológicas, como bien indican Grafstrom y Aasma (2021), uno de los principales problemas está relacionado con el **diseño** de los productos. Es difícil conseguir que el diseño aporte oportunidades de reparación en caso de que fueran necesarias, con ello se busca principalmente alargar la vida útil del producto. Actualmente muchos diseños impiden poder reutilizar o reciclar los productos.

Por otro lado, la **calidad** de los productos reciclados en muchos países es muy baja debido a que la separación de residuos es limitada, ya que en muchos lugares no existen las infraestructuras necesarias para lograr una gestión eficaz de los residuos. No es suficiente únicamente con reciclar los bienes, para que los clientes estén dispuestos a comprar productos reciclados es necesaria una normativa de reciclaje adecuada que asegure una calidad mínima de dichos productos.

Siguiendo lo dispuesto por Grafstrom y Asma (2021), otra barrera tecnológica es la falta de **sistemas informáticos** que midan el progreso de estos nuevos procedimientos. Aunque existen programas que hacen esta función, no están extendidos a todas las empresas, siendo esto una importante evidencia del papel de la tecnología en la transición a una EC. Coincide con este aspecto Kirchherr et al., (2018), señalando textualmente que: “Disponer de la tecnología pertinente es un requisito previo para la transición a la economía colaborativa”.

1.3.2. Barreras Económicas

Citando textualmente a Grafstrom y Aasma (2021): “Las barreras económicas son obstáculos financieros para la adopción de la EC e incluyen dificultades para financiar los modelos de negocio de la EC, altos costes de inversión inicial y bajos precios de los materiales vírgenes.” Esto se traduce en una falta de mercado, que se debe principalmente a la falta de mecanismos para la recuperación de bienes reciclados y a la falta de incentivos económicos.

Por un lado, la falta de mecanismos provoca la baja calidad de estos productos y una percepción negativa por parte de los consumidores. Y por otro lado, la falta de incentivos económicos provoca que a pesar de tener un objetivo muy claro y se quieran adoptar medidas que favorezcan el paso de una economía lineal a una circular, los agentes económicos carezcan de recursos económicos suficientes para poder llevarlas a cabo.

1.3.3. Barreras Institucionales

De acuerdo con Kirchherr et al. (2018), las barreras institucionales son una de las que más se repiten en la literatura relacionada con la EC. Aunque en su estudio, dichas barreras no figuran como las más apremiantes ya que, en los últimos años, la transición a la EC ha sido un objetivo principal para la UE, implantando planes de acción como los señalados en 1.2.

Siguiendo lo dispuesto por Graftrom y Aasma (2021), los principales obstáculos institucionales serían la incoherencia de los mensajes políticos y la deficiencia de la infraestructura institucional, que favorecen una economía lineal, no circular.

También indican que la coherencia de las políticas entre distintos países es fundamental para la integración internacional de las cadenas de suministros. Además, muchas veces los efectos de las políticas aplicables ocasionan problemas para lograr esta transición.

Otro obstáculo que señalan varios investigadores está relacionado principalmente con el alto costo administrativo de los flujos de residuos y la complejidad de la normativa aplicable.

1.3.4. Barreras Culturales

La falta de interés y concienciación de los consumidores es una de las principales barreras culturales que existen según el estudio llevado a cabo por Kirchherr et al. (2018). Además, exponen que esto está directamente relacionado con el rápido cambio de opinión de los consumidores. Es decir, la moda avanza mucho más rápido que la durabilidad del producto, provocando la obsolescencia del mismo en poco tiempo.

Otra importante barrera cultural es la cultura empresarial resistente a una transición a la EC, ya que a pesar de que cada vez la responsabilidad social está más extendida entre las empresas, dentro de las mismas no existe concordancia entre los distintos departamentos internos.

Por último, el hecho de que la economía circular todavía sea desconocida para muchos agentes económicos ocasiona también una barrera cultural. Aunque en muchas empresas se intente transformar la cadena de producción lineal hacia una más circular, muchas personas no entienden qué es lo que se quiere lograr y cuáles son sus beneficios. “Incluso si una empresa ha optado por adoptar el enfoque circular, esto no significa necesariamente que su cadena de suministro también esté dispuesta a adoptarlo.” (Kirchherr et al., 2018).

1.4. IMPORTANCIA DE LA DIGITALIZACIÓN

Las nuevas tecnologías digitales se han convertido en un recurso imprescindible para la transición a una EC. Algunos ejemplos de estas nuevas tecnologías son: el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial, la analítica del big data o la

tecnología blockchain. A estas tecnologías en su conjunto se las conoce como Industria 4.0 (Rusch et al. 2021). Rusch et al. (2021) explican que conforme al plan de acción de la EC de la UE y a la Alianza Europea para la Investigación de la EC, el uso de estas cuatro nuevas tecnologías facilita un aumento de la sostenibilidad y circularidad de los productos y recursos de la siguiente manera:

- El Internet de las Cosas (IoT) es una de las aplicaciones más importantes de la Industria 4.0, ya que proporciona nuevas capacidades de comunicación aumentando la interconexión entre dispositivos y conduciendo a la formación de nuevas redes de información, ello da lugar a una mejora de los parámetros de rendimiento de la Economía Circular (Rusch et al. 2021).
- La Inteligencia Artificial (IA) es el conjunto de aquellas tecnologías que son capaces de realizar ciertas tareas de la misma manera o mejor que los humanos (Rusch et al. 2021). Según Chauhan et al. (2022) la reducción de costes, la identificación de patrones ocultos, la mejora de la calidad y de la capacidad de respuesta son algunas de las ventajas de la IA, facilitando así el proceso de diseño y optimización circular acelerando los enfoques regenerativos de las empresas, la innovación en el diseño de infraestructuras urbanas relacionadas con la economía circular o ayudando a predecir el rendimiento incierto de algunos procesos y detectando fallos en sistemas basados en economía circular.
- La analítica del big data se basa en la estrategia de análisis de grandes cantidades de datos (Rusch et al. 2021). En concreto, Chauhan et al. (2022) explican que en la economía circular, la analítica del big data apoya la creación de nuevos modelos de negocio basados en el servicio y no en el producto, como por ejemplo, el desarrollo de contenidos en línea en lugar de la producción de discos compactos que generan residuos electrónicos.
- La tecnología blockchain trata de una base de datos en la que se registran datos de transacciones e información, facilitando el intercambio de datos, que se caracteriza por ser una cadena de datos con sello temporal y protegida criptográficamente, de ahí la fiabilidad de los datos (Rusch et al. 2021). Esta tecnología lograría impulsar la comunicación tanto interna como externa favoreciendo así el desarrollo de planes relacionados con la transición a una economía circular (Chauhan et al. 2022).

La principal conclusión a la que llegan Rusch et al. (2021) es que los distintos tipos de nuevas tecnologías digitales han de utilizarse en conjunto, como herramientas complementarias, ya que la recogida y el intercambio inteligente de información facilita la circularidad de los recursos y generan nuevas ventajas competitivas.

Según Chauhan et al. 2022, a pesar de la importancia que la tecnología tiene actualmente en esta transformación a una economía más colaborativa y circular, a la hora de adoptar modelos empresariales que favorezcan la intersección entre economía circular y la digitalización, las empresas se encuentran ante

dificultades como la ausencia de procesos estructurados de gestión de datos, o la escasez de personal cualificado unido a la ausencia de normativa adecuada, la escasez de educación medioambiental o la escasa presión de demanda del mercado, por ejemplo.

2. NORMATIVA Y ROL DE LAS DEPURADORAS EN LA TRANSICIÓN A UNA ECONOMÍA CIRCULAR

Este segundo capítulo está centrado en el tratamiento del agua y el papel que desempeña dentro del proceso para la transición a una EC. Se comienza exponiendo el papel del agua para poder entender posteriormente la normativa que ha implantado la UE al respecto y el por qué es de vital importancia tanto el tratamiento del agua como el de los lodos de las depuradoras para favorecer esta transición.

2.1. ROL DEL AGUA EN LA ECONOMÍA CIRCULAR

Actualmente, según señalan Mannina et al. (2021), muchos países de todo el mundo han pasado a ver a los recursos y residuos producidos como una oportunidad y no como un problema, debido a la necesidad de tener que gestionarlos simultáneamente. Además, también explican que todo ello está directamente relacionado con el fuerte crecimiento demográfico esperado para 2050, que provoca a su vez un incremento de las aguas residuales tratadas, unido a un aumento de la producción de lodos de depuradora que han de eliminarse adecuadamente. Sin embargo, un problema ante el que se encuentran los/as investigadores/as es la legislación existente para la gestión de residuos en muchos de los estados miembros de la UE, lo que provoca limitaciones en los métodos de eliminación de lodos y su aplicación en tierra.

Por otro lado, la falta de información de los/las responsables de la gestión del agua sobre la existencia de tecnologías avanzadas para la recuperación de recursos, unido al hecho de que la posibilidad de crear un mercado basado en recursos recuperados sea prácticamente desconocida entre políticos y responsables de la toma de decisiones, se traduce en una falta de aplicación de estas tecnologías a gran escala y genera desconfianza en los usuarios, provocando que se tenga ideas erróneas sobre los riesgos relacionados con la adopción de recursos de recuperación de aguas residuales. Por ello, es de vital importancia la transparencia de los servicios de gestión del agua, siendo imprescindible que las empresas de gestión del agua promuevan este modelo de gestión de recursos desde el punto de vista de la economía circular ajustándose siempre con las normas legislativas estipuladas (Mannina et al. 2021).

Por último, además del papel que desempeña la gestión de aguas residuales para la transición a una EC, Mannina et al. (2021) también exponen la importancia de la reutilización del agua para poder hacer frente a la escasez de esta en países o regiones áridas siendo una de las principales alternativas a las fuentes convencionales de agua dulce.

2.2. NORMATIVA EUROPEA RELACIONADA CON EL TRATAMIENTO DEL AGUA

En los últimos años las autoridades nacionales y regionales de Europa han prestado cada vez más atención desde el punto de vista normativo a la reutilización tanto de las aguas residuales tratadas, como de los lodos de depuradora. En los siguientes subapartados se explica el Reglamento 2020/174 publicado por el Parlamento Europeo, que establece unos requisitos mínimos para la reutilización del agua y la Directiva 86/278/CEE, cuyo objetivo es regular la aplicación de los lodos.

En los planes de acción relacionados con la EC propuestos por la UE, en concreto, en el Pacto Verde y el Plan de Acción de la Nueva Economía Circular (ver 1.2.), las políticas relacionadas con el tratamiento del agua son fundamentales para poder lograr sus objetivos. Aunque, según señalan Mannina et al. (2021), la legislación europea vigente en esta materia muestra una alta complejidad y una tendencia de evolución creciente.

En particular, la competencia legislativa relativa a la gestión cuantitativa y disponibilidad de recursos hídricos le compete al Parlamento Europeo conforme al artículo 192 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (en adelante TFUE), siendo la precaución, la acción preventiva y la rectificación de daños los principios fundamentales del Derecho medioambiental europeo, conforme a lo dispuesto en el artículo 191 del TFUE. (Mannina et al. 2021).

Por otro lado, en los últimos años se ha observado en las instituciones europeas un importante aumento de la producción legislativa relacionada con las políticas medioambientales. A continuación, se presenta la siguiente tabla que resume esta evolución de producción legislativa relacionada con el tratamiento del agua y gestión de lodos.

Tabla 1. Normativa Europea del tratamiento del agua.

Tratamiento de aguas residuales/reutilización del agua		
Referencia Legislativa	Tema clave	Resultados relevantes
Directiva 91/271/EEC	Tratamiento de las aguas residuales urbanas	Reutilización del agua de riego
Directiva 2000/60/EC	Marco de actuación comunitaria en el ámbito de la política de aguas	Definir acciones para la recuperación medioambiental
Directiva 2004/35/EC	Responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales	Establecer el riesgo relacionado con la reutilización
Regulación (EU) 2020/741	Requisitos mínimos para la reutilización del agua	Agua para reutilización de riego
Tratamiento/gestión de lodos		
Referencia Legislativa	Tema Clave	Resultados relevantes
Directiva 86/278/CEE	Regular la aplicación de lodos en la agricultura	Introducción de criterios para la protección del medio ambiente cuando se utilicen lodos de depuradora en la
Directiva 2006/12/CE	Recuperación de residuos	Posibilidad de utilizar la biodegradación de los lodos en los suelos
Directiva 2008/98/CE	Recuperación de residuos	Posibilidad de utilizar la biodegradación de los lodos en los suelos
Directiva UE 2018/851	Recuperación de residuos	Modifica las Directivas 2006/12/CE y 2008/98/CE; especifica que los lodos de depuradora no son residuos urbanos
Reglamento (UE) 2019/1009	Mercados de recursos	Definición de criterios para comercializar lodos de depuradora como productos fertilizantes

Fuente: Mannina et al. 2021

2.2.1. Beneficios e inconvenientes del Reglamento Europeo 2020/174

Como ya se señaló en el apartado 2.2, el Reglamento (UE) 2020/714 establece unos requisitos mínimos para la reutilización del agua, y su principal objetivo es asegurar que el agua regenerada sea segura tanto para el riego agrícola como para la salud humana y animal, garantizando la protección del medio ambiente. En concreto, este reglamento está dividido en dos comunicados de la Unión Europea, que son: el Plan para salvaguardar los recursos hídricos de Europa (2012) y el Plan de Acción de la UE para la economía circular (2015).

Según Mannina et al. 2021, este reglamento está claramente enfocado hacia la transición a una economía circular gracias a la reutilización del agua y la recuperación de lodos producidos por las depuradoras. A pesar de ello, la falta de información por parte del público en general y la falta de un marco de apoyo son los dos principales obstáculos a los que se enfrenta una mayor difusión de estas políticas por parte de la UE. Los autores también exponen que para poder hacer frente a estos problemas sería necesario crear nuevos instrumentos y regímenes jurídicos además de incentivos económicos, con la intención de tener en cuenta los posibles costes y beneficios reales a nivel socioeconómico y medioambiental gracias a la reutilización del agua.

En cuanto a los principales beneficios que resultan de su aplicación, Mannina et al. 2021 destacan que: “Se considera que la reutilización de aguas residuales debidamente tratadas (por ejemplo, procedentes de EDAR urbanas) tiene un menor impacto ambiental que otros métodos alternativos de abastecimiento de agua, como los trasvases o la desalinización”.

2.2.2. Objetivos de la Directiva 86/278/CEE

La Directiva 86/278/CEE está directamente relacionada con la correcta gestión de lodos de depuradora, siendo un aspecto fundamental para lograr la transición a una economía circular.

A lo largo del tiempo se han llevado a cabo múltiples estudios sobre la viabilidad de la recuperación de recursos centrados principalmente en la reutilización de lodos en la agricultura. Dichos estudios habrían puesto en evidencia que el correcto tratamiento de los lodos en su reutilización mejora la fertilidad del suelo sin dar lugar a una contaminación química o biológica (Mannina et al. 2021).

Sin embargo, las principales barreras ante las que se enfrentan este tipo de políticas son las barreras legislativas, ya que, en muchos países, tanto a nivel europeo como internacional, la reutilización de los lodos está muy limitada. Es por ello que surge la Directiva 86/278/CEE dando respuesta a esta limitación y como iniciativa para evaluar los riesgos y oportunidades de la utilización de los lodos en la agricultura.

2.2.3. Paradigma N-E-W y Economía Circular

Tal y como expone Kalemba (2020), el Plan de Acción “Cerrar el círculo” publicado por la Comisión Europea en 2015, tiene como objetivo principal crear una economía en la que los recursos se utilicen de manera sostenible, dando vital importancia a la gestión de los residuos y buscando que estos vuelvan a la economía tratándolos como materias primas secundarias.

El paradigma N-E-W surge en Estados Unidos por la National Association of Clean Water Agencies, la Federation of Water Environment y la Water Environment Research Foundation en el año 2012. N-E-W se centra en el tratamiento de aguas residuales y de lodos desde un enfoque holístico y modificando los objetivos generales del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales; logrando que en la actualidad las depuradoras no se centren únicamente en los aspectos medioambientales, sino también en los sociales y económicos (Kalemba, 2020).

De acuerdo con este paradigma y debido a la gran intensidad energética de los procesos tecnológicos llevados a cabo en las plantas de tratamiento de aguas residuales, es de vital importancia el desarrollo de estrategias para mejorar la eficiencia energética. Una de estas estrategias para recuperar compuestos orgánicos de los flujos del proceso u optimizar el consumo energético la intensificación de la producción de biogás ya que actualmente se considera que es un aspecto económicamente beneficioso debido a que lograría una reducción del coste de adquisición de la electricidad y la independencia energética parcial de la instalación. Por otro lado, se ha de tener en cuenta la disponibilidad de sustratos en el mercado local debido a que los residuos disponibles localmente reducirán costes asociados al transporte de la materia prima y su almacenamiento (Kalemba, 2020).

Además de la intensificación de la producción de biogás, según Kalemba (2020), esto también puede conseguirse con métodos de desintegración de lodos, pero es de vital importancia prestar atención al proceso de renovación del agua, ya que las plantas de tratamiento de aguas residuales pasarán a considerarse un lugar de renovación de fuentes.

2.3. EVALUACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA

Tal y como relata Kalemba (2020), se prevé que para 2025 5.500 millones de personas en todo el mundo vivirán en zonas expuestas al estrés hídrico, incluso actualmente nos encontramos en una situación de escasez de agua en una parte importante de España, hecho que refuerza esta predicción.

Para conseguir hacer frente a esta situación de sequías prolongadas y disminución de recursos hídricos, una alternativa importante es la reutilización de aguas residuales basándose en una serie de procesos para restaurar las propiedades del agua (Kalemba, 2020). El tratamiento de aguas residuales se ha convertido en uno de los elementos más importantes para poder lograr la transformación a una EC.

Es por ello que la implementación del ciclo del agua facilita la cuantificación del impacto relacionado con el uso del agua a partir de las distintas técnicas y métricas en las que se basa.

La evaluación del ciclo del agua permite valorar la cantidad de residuos que se generan o contienen las aguas residuales, ya que a la hora de tratarlas para su posterior reutilización es posible que contengan micro contaminantes orgánicos, compuestos inorgánicos tóxicos, compuestos biogénicos o compuestos minerales disueltos y para su utilización sería necesaria la utilización de métodos como la filtración, la coagulación, la destilación, etc. (Kalemba, 2020).

En concreto, WULCA, que es un proyecto grupal de Life Cycle Initiative¹ sobre la evaluación del uso y agotamiento de los recursos hídricos dentro de la evaluación del ciclo de vida, define el concepto de huella hídrica como la fracción de los impactos que están relacionados con el uso del agua y su consecuente efecto sobre la cantidad de agua disponible para el consumo humano y disponibilidad para los ecosistemas o los asociados directamente sobre el recurso hídrico y sus usuarios.

En general, la evaluación del ciclo de vida consiste en medir y cuantificar los distintos impactos medioambientales generados por la actividad humana durante el ciclo de vida de un servicio o producto, dando lugar a problemas ambientales como por ejemplo el cambio climático, el uso de la tierra, el aumento del nivel del agua, etc. (WULCA, 2020).

3. MÉTRICAS E INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR

Este tercer capítulo está centrado en la definición de las métricas e indicadores que actualmente se están empleando para la evaluación de los procesos directamente relacionados con la EC, permitiendo obtener resultados numéricos que pongan en evidencia las mejoras o el ahorro a lo largo del tiempo, gracias a la incorporación de la tecnología o el beneficio económico al que dan lugar. Además, también se explican cuáles son los principios de la EC, cómo surge la necesidad de definir estos indicadores y sus correspondientes ventajas e inconvenientes.

Se comienza aclarando las diferencias entre indicador y métrica: los indicadores en EC permiten medir y evaluar el funcionamiento de empresas o procesos centrados en prácticas relacionadas con la misma; mientras que las métricas serán aquellos valores que se emplean para definir y calcular posteriormente los indicadores.

¹ **Proyecto Life Cycle Initiative:** Proyecto mundial formado por una multitud de miembros de países de América del Norte, Australia y Europa cuyo objetivo es definir un marco consistente para evaluar, comparar y divulgar el impacto ambiental que tienen ciertos productos y servicios en el uso de agua dulce.

3.1 PRINCIPIOS DE ECONOMÍA CIRCULAR

Para poder definir los principios de la EC es necesario tener en cuenta el papel de la bioeconomía, tal y como señala Gursel et al. (2022): "La Alianza Europea de Bioeconomía define la bioeconomía como "el motor biológico de una futura economía circular, que se basa en el uso óptimo de los recursos y la producción de materias primas primarias a partir de materias primas renovables". Es por ello que la sinergia entre EC y Bioeconomía es esencial para lograr la independencia de los productos fósiles, la valorización de desechos u ofrecer la posibilidad de un uso de los productos de base biológica en cascada (Gursel et al. 2022).

Gursel et al. (2022) explica que la EC opera a tres niveles: micro (productos, empresas y consumidores), meso (parques ecoindustriales) y macro (ciudad, región y nación) encontrándose los productos de base biológica dentro del nivel micro. Una de las ventajas de los productos de base biológica es que dentro del proceso de reciclaje o reutilización pueden ser empleados en múltiples usos.

En la Tabla 2 Gursel et al. (2022) expone los seis principios fundamentales de la EC y qué es lo que se debería de medir según cada principio, en base a una revisión bibliográfica llevada a cabo.

Tabla 2. Principios de la economía circular y qué debe medirse para supervisar la circularidad de los productos de base biológica.

PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR	QUÉ ES NECESARIO MEDIR:
1. Reducir la dependencia de los recursos fósiles.	1. Porcentaje de recursos renovables
2. Uso eficiente de los recursos (incluida la biorrefinería)	2. Eficiencia en el uso de los recursos (incluido el uso de residuos)
3. Valorizar los desechos y residuos	3. Grado de regeneración
4. Regenerarización	4. Grado de recirculación
5. Recirculación	5. Utilidad (incluye el uso en cascada)
6. Ampliar el uso de alta calidad de la biomasa (incluido el uso en cascada)	6. Riesgo de acumulación de sustancias peligrosas
	7. Efecto en la protección del medio ambiente
	8. Efecto sobre la viabilidad económica
	9. Efecto sobre la equidad social

Fuente: Gursel et al. (2022)

La EC tiene como objetivo principal maximizar la eficacia de los recursos y minimizar la producción de residuos, convirtiendo a estos en recursos para poder reintroducirlos en el proceso de producción. En este aspecto, la industria de las aguas residuales ha sido de las más relevantes en este proceso de cambio a una EC, considerándose como un recurso y no como un residuo, ya que la recuperación de muchos de los componentes de las aguas residuales tiene tanto beneficios económicos como medioambientales (Molina-Moreno et al. 2017).

Es por ello que, tal y como explica Molina-Moreno et al. (2017), surge la necesidad de desarrollar indicadores que permitan evaluar el progreso obtenido en cuanto a la eficacia en términos de reducción, reutilización y reciclaje de los residuos generados, siendo útiles principalmente para determinar el grado de aproximación de cualquier proceso a la EC. De ahí que gobiernos, empresas u organizaciones no gubernamentales hayan propuesto diferentes estrategias y principios relacionados con la EC (Gursel et al. 2022).

Uno de los principios de la EC es la reutilización de residuos y eficiencia de los recursos siendo el principal objetivo la recuperación de recursos a partir de los residuos, para ello es fundamental un cambio de mentalidad que permita poner esto en práctica, basándose en la preservación del valor de materiales, recursos y productos (Iacovidou et al. 2017).

De acuerdo con Iacovidou et al. (2017), en muchas ocasiones la reutilización de recursos es limitada debido a factores como el envejecimiento, el diseño o el rendimiento. En consecuencia, algunas de las soluciones que se pueden llevar a cabo para paliar este problema son la reparación, el reacondicionamiento, la refabricación, el reciclado o la recuperación de energía. Ordenando las mismas de mejor a peor según la UE, que se basa a su vez en la “jerarquía de recursos”, de la siguiente manera: 1. reutilización de recursos, 2. reciclado de materiales, 3. recuperación de energía y 4. eliminación.

A pesar de ello, citando textualmente a Iacovidou et al. (2017): “En realidad, la recuperación eficiente y respetuosa con el medio ambiente del valor de los residuos es mucho más compleja que limitarse a seguir una descripción jerarquizada de las opciones de gestión genéricamente preferidas”, ya que la transición a una EC que sea eficiente en la recuperación de recursos necesita de enfoques que permitan una evaluación más holística de la creación de valor dentro de estos sistemas en cuestión.

3.2. TIPOS DE MÉTRICAS

Las principales métricas que se emplean a la hora de evaluar los procesos de recuperación de recursos se dividen en los cuatro tipos que se explican a continuación, según la clasificación de Iacovidou et al. (2017).

3.2.1. Métricas Medioambientales

Tal y como señala Iacovidou et al. (2017), es necesario identificar los diversos beneficios e impactos ambientales de los procesos de recuperación de recursos a partir de los residuos y, para ello, la herramienta más común es la **evaluación del ciclo de vida del producto**, ya que permite realizar evaluaciones y comparaciones útiles entre los distintos productos, procesos o sistemas. Como, por ejemplo:

- Evaluar el rendimiento medioambiental y energético de los sistemas de gestión de residuos.
- Evaluar el rendimiento medioambiental y energético de los procesos industriales.
- Comparar diferentes procesos de gestión de residuos y/o estrategias de valorización energética.
- Evaluar el rendimiento de los componentes y productos utilizados en diferentes aplicaciones.

A su vez, dentro de las métricas medioambientales se pueden distinguir los siguientes tipos basándose de nuevo en la clasificación de Iacovidou et al. (2017):

- **Métricas de emisiones de carbono.** Siendo la más conocida y utilizada en la evaluación de los sistemas de recuperación de recursos a partir de residuos, ya que está directamente relacionada con las emisiones de gases de efecto invernadero, aunque su medición y significado siguen siendo inconsistentes.
- **Emisiones contaminantes a la atmósfera, el agua y el suelo.** Debido a que durante el proceso de recuperación de recursos a partir de residuos se emiten otros gases y compuestos además del carbono que también son perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Aún así, esta métrica no permite distinguir los contaminantes específicos ni sus efectos adversos.
- **Agotamiento de los recursos: métricas relacionadas con la energía.** En la generación de energía se utilizan tanto combustibles fósiles como de otro tipo, siendo así el consumo de energía una de las métricas más básicas a la hora de describir un sistema de producción o reciclaje.
- **Agotamiento de los recursos: parámetros no relacionados con la energía.** Se considera el aspecto más importante ya que el principal objetivo es reducir el agotamiento de recursos materiales naturales primarios y la degradación medioambiental gracias a la recuperación de recursos a partir de los residuos.
- **Métricas de eficiencia.** Consiste en una serie de métricas que evalúan la eficiencia de un proceso o sistema basándose en información relativa al flujo de energía desde dos puntos específicos del proceso o para dos recursos diferentes siempre y cuando influyan en un mismo proceso.
- **Métricas integradas.** Combinan varios aspectos del rendimiento del proceso en una única medición basándose en un principio científico o económico común.

3.2.2. Métricas Económicas

Las repercusiones económicas de cualquier estrategia de recuperación de recursos son aspectos fundamentales a tener en cuenta para: conocer su viabilidad financiera, poder cumplir con los objetivos económicos a escala local, nacional o regional; o justificar las decisiones que hayan sido tomadas y apoyarlas con inversiones, subvenciones... (Iacovidou et al. 2017).

Para lograr la confianza del sector del reprocesamiento y aumentar la demanda es imprescindible adoptar medidas para mejorar la viabilidad económica de los

procesos de recuperación de recursos, como por ejemplo: la innovación técnica o valores de configuración óptimos (Iacovidou et al. 2017).

Una de las herramientas más populares y apoyadas para evaluar el impacto de los proyectos de recuperación de recursos a partir de residuos en términos monetarios es el **análisis coste-beneficio**, ya que se considera que esta herramienta da lugar a una evaluación transparente, clara y sistemática.

En cuanto a los resultados de este análisis se considera que para que los materiales, productos o componentes recuperados sean económicamente viables estos deben de estar demandados en el mercado y su precio ha de ser competitivo con respecto al de las materias primas (Iacovidou et al. 2017). Otros aspectos relacionados con la evaluación de la viabilidad económica de este tipo de procesos, expuestas por Iacovidou et al. (2017), son:

- La capacidad de adquirir materias primas a plena capacidad y la disponibilidad de infraestructuras de residuos existentes para satisfacer la demanda.
- La ubicación estratégica de las instalaciones de recuperación que puedan hacer económicamente viable la recuperación de recursos.
- La longevidad de los activos, terrenos y edificios.

Por otro lado, los críticos afirman que este método puede dar lugar a una falsa comparabilidad debido a el sesgo metodológico de que sólo se puede reconocer lo que se puede monetizar. Por ello, los resultados obtenidos a partir de cualquier análisis coste-beneficio pueden ser incoherentes ocasionalmente ya que la monetización de la vida humana y de los servicios ecosistémicos que sustentan a la misma es éticamente cuestionable. Según Iacovidou et al. (2017), no se considera adecuado el resultado debido a la compleja evaluación del valor de los procesos de recuperación de recursos.

3.2.3. Métricas Sociales

El impacto de los procesos de fabricación de materiales, componentes o productos y su repercusión a lo largo de su ciclo de vida tiene un gran impacto a todos los niveles de la sociedad, además de repercutir medioambiental y económicamente. Dicho impacto es fruto de las interacciones y relaciones sociales que surgen entre los principales grupos de partes interesadas que intervienen en el ciclo de vida de los productos, resultado de los siguientes tres aspectos básicos (Iacovidou et al. 2017):

1. Comportamientos individuales y toma de decisiones a nivel sectorial.
2. Procesos socioeconómicos afectados por la toma de decisiones socioeconómicas.

3. Creación de capital humano, social y cultural como resultado del panorama socioeconómico.

Para poder obtener una idea clara del modo en que se crean y evolucionan dichos impactos sociales es necesario llevar a cabo un estudio de estas tres interrelaciones. Iacovidou et al. 2017 destacan que la creación de legislación y la participación ciudadana son aspectos fundamentales, pudiendo esta última reforzarse mediante campañas de educación y sensibilización que permitan un cambio de comportamiento y mentalidad para poder lograr la concienciación de los beneficios que su participación aportaría.

Recientemente se ha desarrollado una **evaluación del ciclo de vida social** que establece una serie de fenómenos sociales claves para la evaluación de los impactos sociales tanto positivos como negativos de un producto o componente: la salud y seguridad públicas, la mano de obra que se necesita por cada unidad de producto o las horas de trabajo necesarias en cada proceso; siempre teniendo en cuenta el contexto específico en que se realiza el trabajo y las condiciones de las instalaciones o país en el que se lleva a cabo (Iacovidou et al. 2017).

3.2.4. Métricas Técnicas

El ciclo de vida de los productos depende directamente de las propiedades técnicas que estos posean, ya que en función de su mantenimiento o conservación el ciclo de vida podrá alargarse más o menos; aunque algunos de sus materiales podrían seguir siendo útiles de forma independiente. La recuperación de estos materiales es cada vez más importante y la valoración técnica residual de los mismos en la industria un requisito previo indispensable para promover la reutilización, reciclabilidad y potencial de recuperación. (Iacovidou et al. 2017).

Iacovidou et al. 2017 define reutilización o potencial de reutilización como: “capacidad de un componente o producto para conservar su funcionalidad una vez finalizada su vida útil primaria”. Se necesita disponer de información estática sobre las características físicas, ingenieras y la forma en que estos componentes se fabrican juntos; y de información dinámica para poder regular la transformación de sus características tanto funcionales como físicas durante su uso. Debido a la fácil variabilidad en función de aspectos culturales, históricos u organizativos esta métrica debe utilizarse con cierta precaución a la hora de evaluar la reutilización de componentes. Asimismo, para poder promover y conservar la reutilización del producto es necesaria una selección de la tecnología y proceso adecuados (Iacovidou et al. 2017).

3.3. INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR

Como bien expone Martinho et al. (2021), identificar indicadores de sostenibilidad relacionados con la circularidad es de vital importancia a la hora de llevar a cabo una buena evaluación de los procesos realizados y así poder diseñar políticas y estrategias empresariales más ajustadas a la realidad. Con

ello se lograrán mejorar las prácticas de la EC. Además, incorporando nuevas tecnologías y nuevos patrones económicos podrán surgir nuevas oportunidades de sostenibilidad para un uso más eficiente de los recursos y mejorar la gestión de los residuos producidos.

A continuación, se exponen una serie de indicadores que facilitarán el análisis y la obtención de resultados a partir de los procesos de EC, clasificados en 4 grupos.

3.3.1 Uso Eficiente del Agua

- **Porcentaje de agua reutilizada:** facilita la obtención del resultado de agua reutilizada sobre la cantidad total de agua utilizada, siempre que el porcentaje obtenido sea superior al 50%, la cantidad de agua reutilizada supera a la cantidad total de agua que se ha empleado, logrando así un ahorro de recursos empleados.

$$\frac{\text{Cantidad de agua reutilizada}}{\text{Cantidad total de agua utilizada}} \times 100$$

- **Porcentaje de agua reciclada:** para poder observar cuánta agua ha sido reciclada sobre el total de agua utilizada. Un resultado superior al 50% será evidencia de un ahorro gracias a la incorporación de agua reciclada.

$$\frac{\text{Cantidad de agua reciclada}}{\text{Cantidad de agua utilizada}} \times 100$$

- **Índice de eficiencia en el uso del agua:** logrando así cuantificar la cantidad de agua necesaria para la obtención de los productos o servicios producidos, cuanto menor cantidad de agua se necesite para la producción de los mismos, más eficiente será el uso de la misma.

$$\frac{\text{Cantidad de agua reciclada}}{\text{Cantidad de agua utilizada}} \times 100$$

Otro indicador que se puede utilizar para medir la eficiencia en el uso del agua es comparar la cantidad de agua perdida sobre la cantidad total de agua tratada, buscando que la cantidad de agua perdida sea siempre la mínima posible.

$$\frac{\text{Cantidad de agua perdida}}{\text{Cantidad de agua tratada}}$$

3.3.2 Reducción de Residuo

- **Porcentaje de reducción de residuos:** este porcentaje será útil a la hora de comparar la cantidad de residuos obtenida en dos periodos diferentes, pudiendo así observar si ha existido una mejora o no después de

incorporar las herramientas que se hayan considerado para intentar mejorar el proceso en cuestión.

$$\frac{(\text{Cantidad de residuos en un periodo de tiempo anterior} - \text{Cantidad de residuos en el periodo actual})}{\text{Cantidad de residuos en un periodo de tiempo anterior}} \times 100$$

- **índice de materiales reutilizados:** para obtener el porcentaje de cantidad de materiales reutilizados sobre la cantidad total de materiales utilizados. El resultado óptimo sería un resultado cercano al 100% o mayor que el 50%, ya que eso indica que la cantidad de materiales reutilizados supone más de la mitad de la cantidad total de materiales usados.

$$\frac{\text{Cantidad de materiales reutilizados}}{\text{Cantidad total de materiales utilizados}} \times 100$$

- **Porcentaje de materiales reciclados:** este indicador evalúa el porcentaje de materiales reciclados empleados sobre la cantidad de materiales de desperdicio que se hayan generado. Cuanto mayor sea el porcentaje obtenido, mejor será el indicador.

$$\frac{\text{Cantidad de materiales reciclados}}{\text{Cantidad total de materiales de desperdicio generados}} \times 100$$

- **Porcentaje de producción de residuos sobre porcentaje de producción de agua reciclada:** gracias a este indicador podrá observarse la comparación de la producción de residuos existente sobre la producción de agua reciclada, cuanto mayor sea el resultado, mayor cantidad de residuos se generan en el proceso de tratamiento del agua.

$$\frac{\text{Cantidad de desperdicio generada}}{\text{Cantidad de agua reciclada}} \times 100$$

3.3.3 Eficiencia Energética

- **Intensidad energética:** para poder observar cuánta cantidad de energía se consume por cada unidad de producción o por tiempo. Se busca un porcentaje cercano a 0, ya que un menor consumo necesario de energía indica una mayor intensidad de la energía empleada.

$$\frac{\text{Consumo de energía}}{\text{Unidad de producción o tiempo}}$$

- **Porcentaje de energía renovable:** compara la cantidad de energía renovable producida o utilizada sobre la cantidad total de energía consumida, siendo un porcentaje superior al 50% un resultado óptimo.

$$\frac{\text{Cantidad de energía renovable generada o utilizada}}{\text{Cantidad total de energía consumida}} \times 100$$

- **Ahorro de energía:** se define como la diferencia entre la cantidad de energía consumida en un periodo actual frente a la consumida en un periodo anterior, si el resultado disminuye con respecto al periodo anterior, se estará produciendo un mayor ahorro energético.

Cantidad de energía consumida en el periodo actual – Cantidad de energía consumida en el periodo anterior

3.3.4 Participación Comunitaria

- **Porcentaje de población participante:** compara el número de personas que sí participan en el proceso objeto de estudio sobre el total de la población. Cuanto mayor sea el porcentaje obtenido, mejor es el indicador.

$$\frac{\text{Número de personas participando}}{\text{Población total}} \times 100$$

- **Toneladas de residuos reciclados por habitante:** sirve para realizar una aproximación de la cantidad de residuos que recicla cada habitante de una población, buscando siempre que la cantidad reciclada sea lo mayor posible. Si la cantidad total reciclada aumenta, aumentará la cantidad que recicla cada habitante individualmente, indicando una participación ciudadana favorable.

$$\frac{\text{Toneladas de residuos reciclados}}{\text{Población total}}$$

- **Número de iniciativas comunitarias:** es un indicador que expone si la participación ciudadana es mejorable o no, y si existen políticas comunitarias suficientes que promuevan un desarrollo sostenible y una transición a la EC.

Número de iniciativas comunitarias

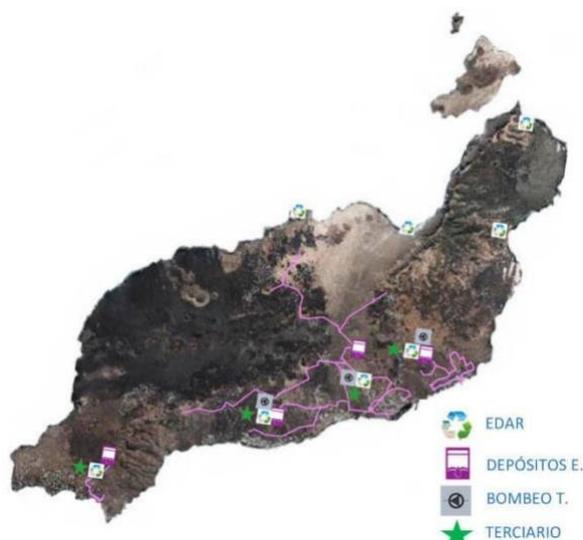
4. CASO PRÁCTICO PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA EN LA ISLA DE LANZAROTE

Una vez expuesto a lo largo de los tres capítulos anteriores el marco teórico, en este cuarto capítulo se aplica a un caso práctico en el que se pretende mostrar cómo se puede ahorrar reutilizando desechos y residuos, en concreto, los generados por las depuradoras de la isla de Lanzarote. Para el cálculo de los indicadores de EC y el estudio de su evolución en relación con el aumento de la inversión se emplean: (1) una base de datos de elaboración propia, generada en base a información extraída del Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote desde el año 2018 al 2022 sobre el tratamiento de aguas de la isla y (2) los Estados de Gastos e Ingresos publicados por el Consorcio del Agua de Lanzarote en ese mismo periodo.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO

El caso de estudio lo conforman el conjunto de 4 depuradoras de la isla de Lanzarote, que son las representadas en la Figura 1, localizadas en los municipios de: Arrecife, Costa Teguise y Tías.

Figura 1: Depuradoras de la isla de Lanzarote



Fuente: <https://www.canalgestionlanzarote.es/inicio/nuestro-ciclo-integral-del-agua/depuracion-y-reutilizacion/>

En la isla de Lanzarote, hasta el año 1973 la empresa Termolanza (Termoelectrica de Lanzarote) era la única empresa que se dedicaba a suministrar agua y electricidad, aunque ayuntamientos como el del municipio de Yaiza y particulares también realizaban el suministro de agua e incluso se llegaba a transportar desde Gran Canaria con una planta Desaladora Dual que no llegaba a cubrir las necesidades de suministro ni de agua ni de electricidad para la población de Lanzarote, produciendo unos 2300m³/día y electricidad con potencia 1500KW.

Es por ello por lo que en 1974 el Cabildo Insular de Lanzarote compra la parte eléctrica de Termolanza surgiendo UNELCO y crea el “**Consortio del Agua**” como Entidad pública local formada por los siete Ayuntamientos de la isla y el Cabildo Insular de Lanzarote cuya función sería la producción, distribución y depuración de agua con el fin de que un bien como el agua fuera gestionado por empresas privadas, siendo INALSA su empresa instrumental.

En la actualidad, las 4 plantas gestionadas por Canal Gestión produjeron en 2022 28.172.408 m³, de los cuales, 12.277.171 m³ fueron consumidos por un total de 74.914 abonados.

4.2. CÁLCULO Y DESCRIPCIÓN DE LOS INDICADORES

En los siguientes subapartados se exponen gráficamente y se describen las tendencias de 2018 a 2022 de los indicadores de EC del caso de estudio. De los

13 indicadores de EC definidos en el apartado 3.3., para el caso del tratamiento de aguas de la isla de Lanzarote se calculan los 9 siguientes, sintetizados en la tabla 3, porque son para los que se disponen datos según la base de datos expuesta en el Anexo I.

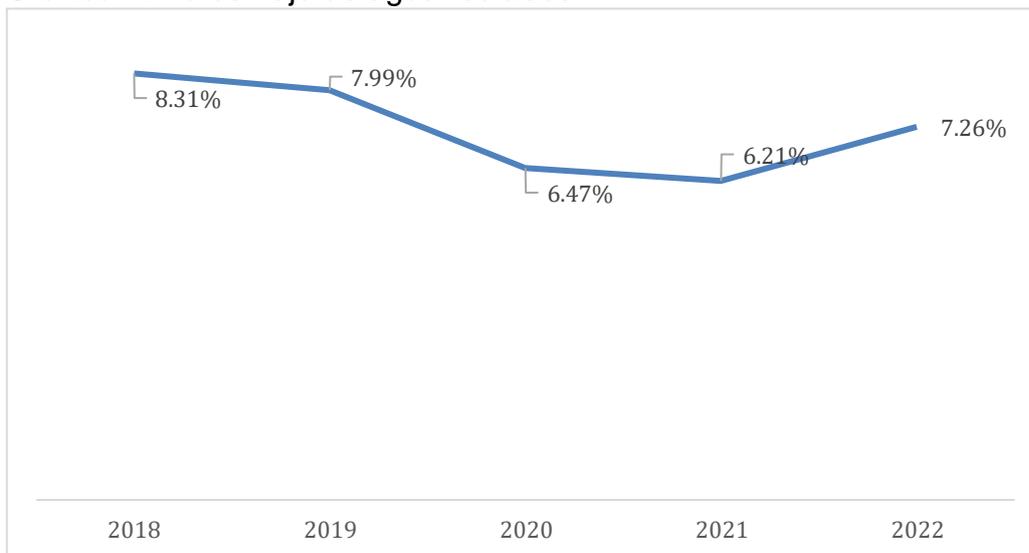
Tabla 3. Indicadores a calcular con datos del agua de Lanzarote

USO EFICIENTE DEL AGUA	
INDICADOR	FÓRMULA
Porcentaje de agua reciclada	$\frac{\text{Cantidad de agua reciclada}}{\text{Cantidad de agua producida}} \times 100$
Índice de eficiencia en el uso del agua	$\frac{\text{Consumo total agua potable}}{\text{Producción agua potable}} \times 100$
Tasa de pérdida de agua	$\frac{\text{Cantidad de agua perdida}}{\text{Cantidad de agua tratada}} \times 100$
REDUCCIÓN DE RESIDUOS	
Porcentaje de reducción de residuos	$\frac{\text{Residuos periodo anterior} - \text{Residuos periodo actual}}{\text{Residuos periodo anterior}} \times 100$
Porcentaje de generación de residuos según tipo	$\frac{\text{Cantidad tipo residuo generado}}{\text{Cantidad total residuos generados}} \times 100$
Porcentaje de residuos producidos sobre agua reciclada	$\frac{\text{Cantidad de residuos generados}}{\text{Cantidad de agua reciclada producida}} \times 100$
EFICIENCIA ENERGÉTICA	
Ahorro de energía	$\text{Energía periodo actual} - \text{Energía periodo anterior}$
PARTICIPACIÓN COMUNITARIA	
Porcentaje de población participante	$\frac{\text{Nº de personas participantes}}{\text{Población total}} \times 100$
Toneladas de residuos generadas por participante	$\frac{\text{Toneladas de residuos generados}}{\text{Población total}} \times 100$

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Uso Eficiente del Agua

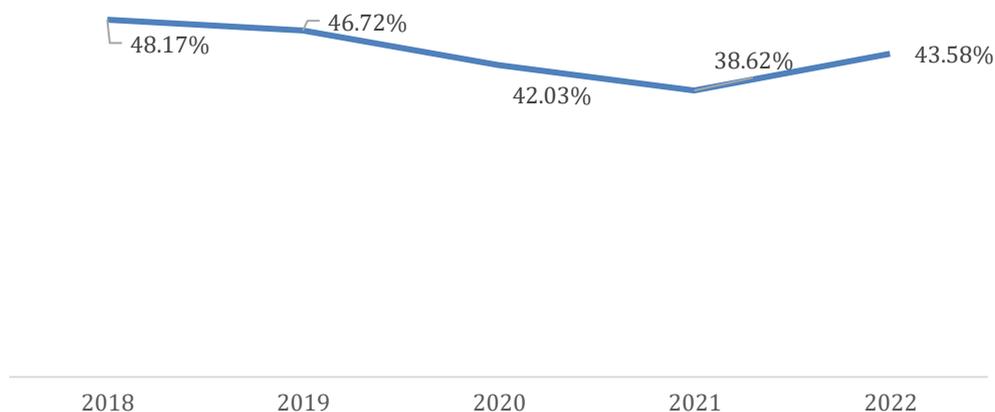
Gráfica 1. Porcentaje de agua reciclada



Fuente: Elaboración propia

Observando la evolución del porcentaje de agua reciclada en la Gráfica 1 sobre el total de agua producida desde el año 2018 al año 2022 se observa una bajada de producción de agua reciclada desde el año 2018 al año 2021 en un 2,1% aproximadamente, volviendo a incrementar en el año 2022.

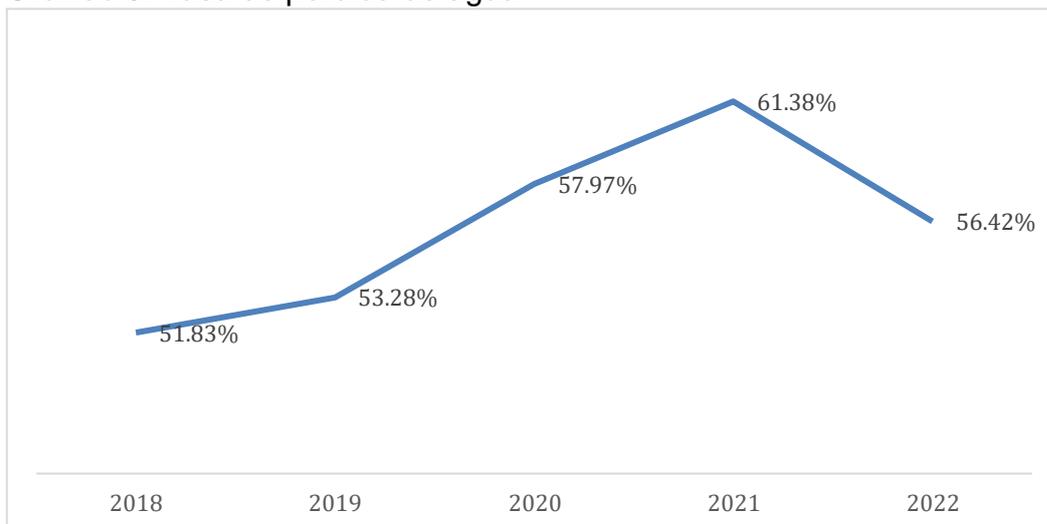
Gráfico 2. Índice de eficiencia en el uso del agua



Fuente: Elaboración propia.

El índice de eficiencia en el uso del agua se comporta de la misma forma que los resultados obtenidos a partir del indicador del porcentaje de producción de agua reciclada sobre la producción total de agua en Lanzarote, con valores más favorables en el periodo de 2018 y una tendencia descendente hasta 2021 y volviendo a recuperarse en el año 2022.

Gráfico 3. Tasa de pérdida de agua



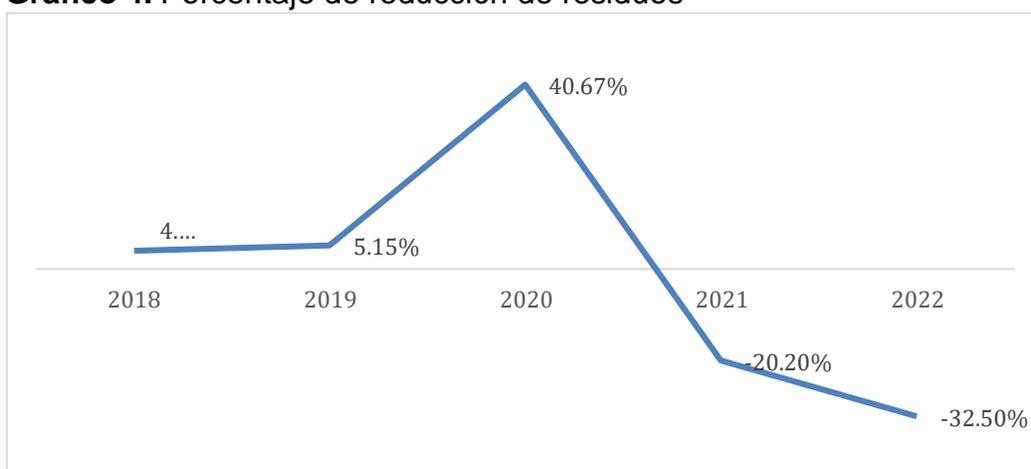
Fuente: Elaboración propia.

Con la tasa de pérdida de agua también se observa un aumento progresivo de pérdidas de agua desde el año 2018 al año 2021, bajando ligeramente en el periodo de 2022, factor favorable ya que demuestra una menor tasa de pérdida de agua, cuanto menos agua se pierda en el proceso de tratamiento de la misma, este será más eficiente.

4.2.2. Reducción de Residuos

Antes de comenzar con el análisis de los indicadores de este bloque, se puntualiza que estos han sido calculados a partir de los tres principales tipos de residuos que generan las plantas depuradoras en el proceso de tratamiento del agua.

Gráfico 4. Porcentaje de reducción de residuos

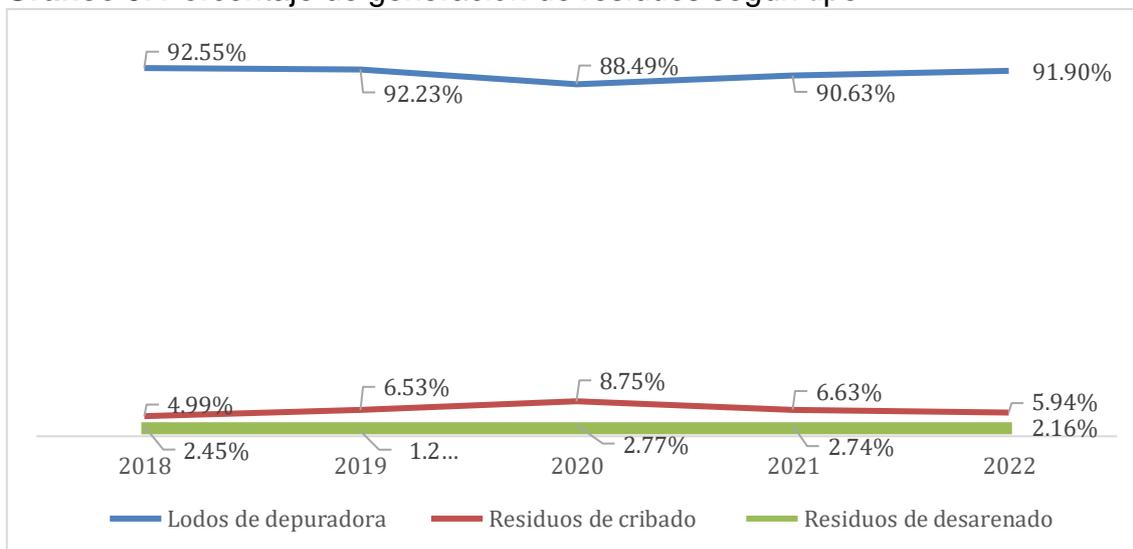


Fuente: Elaboración propia.

En este caso, cuanto mayor sea el porcentaje, mayor será la reducción de producción de residuos con respecto al periodo anterior, observando así una

gran mejoría del periodo de 2019 al periodo de 2020 y volviendo a decrecer fuertemente de 2020 a 2021, siguiendo esta tendencia en el año 2022.

Gráfico 5. Porcentaje de generación de residuos según tipo



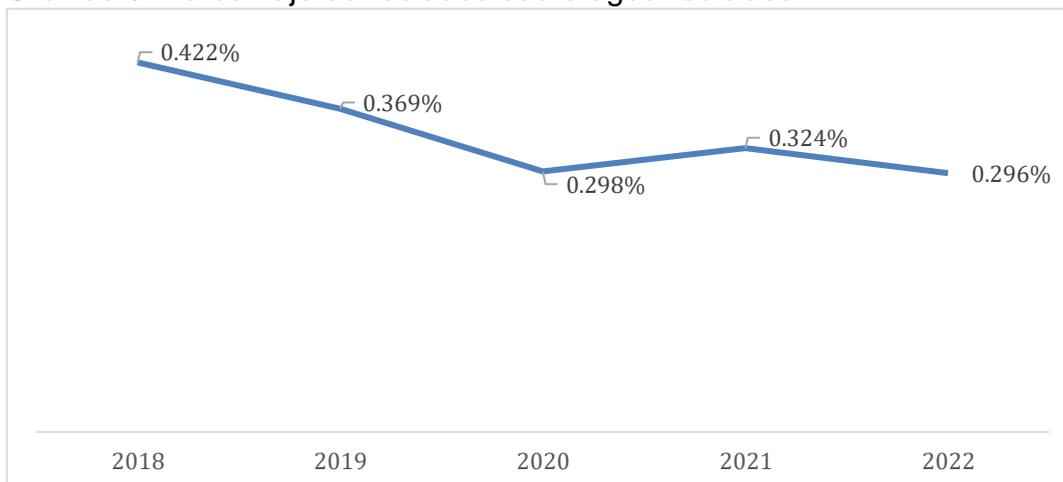
Fuente: Elaboración propia.

Empezando por el análisis de la tendencia de generación de lodos de depuradora, es evidente que es el residuo que se genera en mayor cantidad, y disminuye ligeramente desde el periodo 2018 a 2020 volviendo a aumentar en 2021 hasta 2022.

Por otro lado, en cuanto a los residuos de cribado, que son aquellos residuos que se separan a propósito en el tratamiento del agua por diferentes causas como pueden ser el riesgo para la salud o medioambiente, al contrario que los lodos de depuradora tienen una tendencia positiva desde 2018 a 2020, periodo en el que empieza a decrecer su porcentaje de generación hasta 2022.

Por último, los residuos que se generan en menor cantidad son los de desarenado, arena, objetos metálicos pequeños... que se eliminan a lo largo del proceso de depuración del agua. Son los que se generan en menor cantidad, disminuyendo su producción en el paso de 2018 a 2019 volviendo a incrementar de 2019 a 2021 y disminuyendo ligeramente de 2021 a 2022.

Gráfico 6. Porcentaje de residuos sobre agua reciclada.

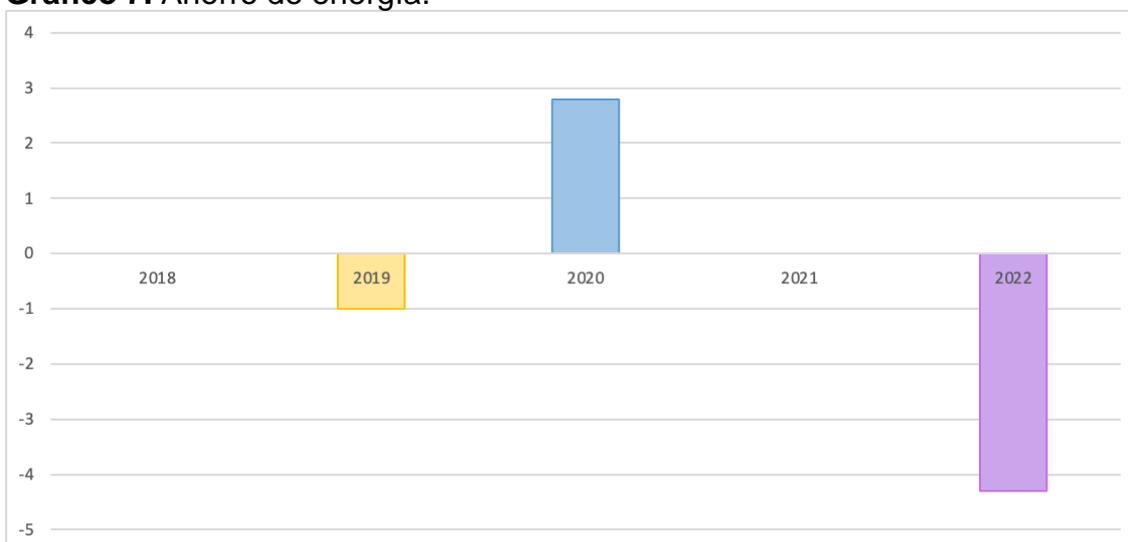


Fuente: Elaboración propia.

Este indicador permite comparar la producción de residuos sobre la producción de agua reciclada, significando un mayor resultado una mayor producción de residuos en comparación con la producción de agua reciclada, observándose una tendencia descendente desde 2018 a 2020, hecho favorable, vuelve a crecer la producción de residuos en 2021 y volviendo a decrecer en 2022.

4.2.3. Eficiencia Energética

Gráfico 7. Ahorro de energía.



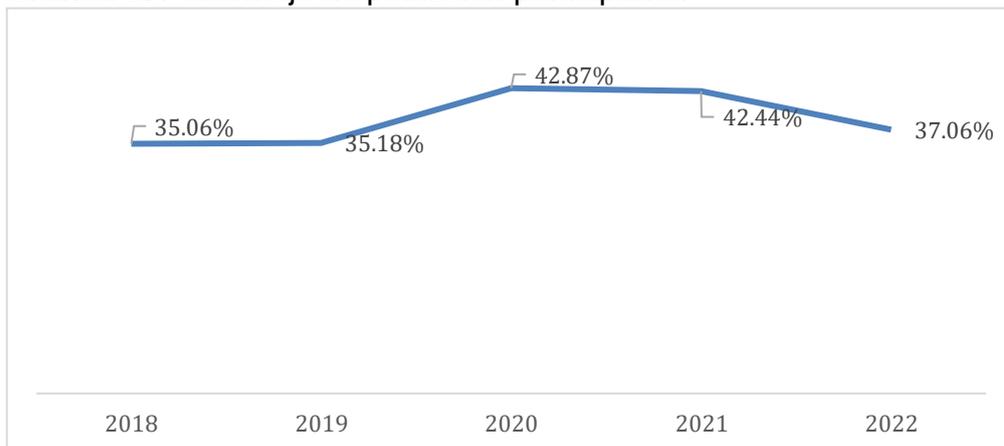
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al ahorro de energía, cuanto menor sea el índice, mayor es el ahorro. En este caso se refleja una gran mejoría del periodo de 2020 al periodo de 2022, siguiendo la tendencia del año 2019 a pesar de la subida del índice en el año 2020, siendo el periodo en el que menos ahorro energético se observa.

4.2.4. Participación Comunitaria

En este caso, se considera como población participante aquella población a la población de la isla de Lanzarote que consume agua potable tratada por las depuradoras objeto de estudio según los datos obtenidos del Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote.

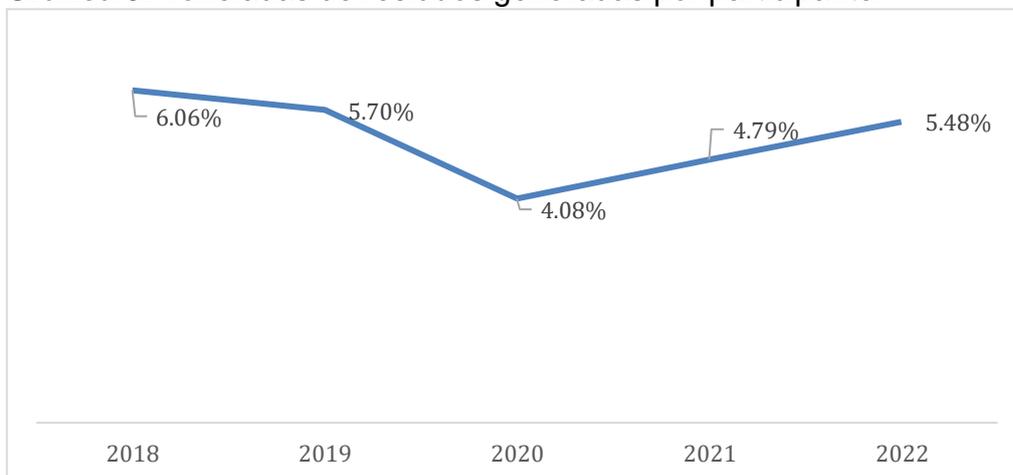
Gráfica 8. Porcentaje de población participante.



Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de población participante tiene un aumento de un 7,69% en el año 2020, disminuyendo ligeramente de 2020 a 2021 y sufriendo un descenso de un 5,38% en el paso de 2021 a 2022.

Gráfica 9. Toneladas de residuos generadas por participante.



Fuente: Elaboración propia.

Las toneladas de residuos generados por persona no coinciden necesariamente con un mayor número de población total, ya que en los años 2018 y 2019 la población era mayor que en 2022 y el porcentaje de toneladas generadas por participante es hasta casi un 0,6% mayor.

Una vez calculados los distintos indicadores, se analizarán los presupuestos que han sido publicados en el Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote, para relacionar dicho análisis con los datos obtenidos.

4.3. ANÁLISIS DE LOS ESTADOS INGRESOS-GASTO EN RELACIÓN CON LOS INDICADORES DE ECONOMÍA CIRCULAR

A la hora de relacionar los resultados obtenidos con los indicadores y los Estados de Ingresos y Gastos publicados por el Consorcio del Agua de Lanzarote en el Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote se observa lo siguiente: la mayoría de los periodos en los que los resultados de los indicadores son favorables coinciden con los periodos en los que mayor inversión se ha destinado a las plantas de tratamiento del agua.

Antes de empezar con el análisis de los Estados Ingreso-Gasto en relación con los indicadores, cabe destacar que estos evolucionan de manera positiva del año 2018 al año 2022, ya que los Ingresos pasan de 300.000€ a 380.000€, lo que supondría un aumento de un 79% aproximadamente, valor que a pesar de bajar ligeramente en el periodo de 2022 a 330.000€, aumenta considerablemente la partida de Ingresos Patrimoniales pasando de 1.607.500€ en 2019 a 4.000.000€ en 2022, aumentando así un 40%.

En concreto, en los indicadores del apartado 4.2.1. la tendencia negativa de los mismos coincide con una bajada de los gastos destinados a inversiones de unos 143.000€ del año 2018 al año 2019, pudiéndose relacionar el hecho de una menor producción de agua reciclada con dicha disminución, como se puede observar en el Gráfico 1, teniendo en cuenta que el dinero destinado a inversiones sea con el fin de mejorar infraestructuras. En cambio, en el año 2022 la subida de producción de agua reciclada coincide con un aumento de 856.700€ de dinero destinado a inversiones reales en comparación con el año 2019. En el caso del Gráfico 2, se muestra que el indicador se comporta de la misma forma que en el caso de la Gráfica 1. Y la Tasa de pérdida de agua tiene una tendencia ascendente desde el año 2018 al año 2022 coincidiendo de nuevo la mejora de los valores del indicador con una mayor inversión real en el año 2022 como se observa en el Gráfico 3 y los Estados de Gastos e Ingresos del Anexo II.

En cuanto al epígrafe 4.2.3, el Gráfico 7, vuelve a evidenciar una mejoría del resultado del indicador en el periodo de 2022, siendo este periodo el que cuenta con una mayor Inversión Real, ya que cuanto menor sea el porcentaje obtenido en este caso, mayor ahorro de energía se ha logrado en el periodo correspondiente con respecto al anterior, llegando a alcanzar en 2022 un valor negativo de casi un -5% en comparación con el -1% del 2019.

Por último, en el apartado 4.2.4. se observa una relación entre el Gráfico 9, ya que los resultados de ambos indicadores se comportan de manera muy similar, lo que evidencia que la generación de residuos está directamente relacionada con la cantidad de población participante en el proceso de tratamiento de aguas, cuantos más participantes, mayor cantidad de residuos se generan, lo que a su vez explica el comportamiento del Gráfico 4, cuya tendencia es negativa, coincidiendo este factor con un mayor número de población participante.

CONCLUSIONES

Este Trabajo de Fin de Grado tiene por objetivo el cálculo de los indicadores de EC en el caso concreto de las depuradoras de agua de la isla de Lanzarote y demostrar la relación existente entre una mayor Inversión Real por parte de los organismos encargados del proceso de tratamiento del agua en este caso, y la mejora de los resultados obtenidos a partir de los indicadores.

Los objetivos específicos **1.** Establecer el marco teórico del concepto de Economía Circular, exponiendo su normativa a nivel europeo y nacional vigente en la actualidad y relacionada directamente con el tratamiento de aguas y una descripción de las barreras para su implantación y **2.** Identificación de los indicadores de economía circular existentes en la literatura, se han puesto de manifiesto en el marco teórico, en concreto, en los tres primeros capítulos del Trabajo.

Y el objetivo **3.** Demostrar la relación directa entre aumento de la inversión en infraestructuras con la mejora de los indicadores de Economía Circular en el caso de las depuradoras de la isla de Lanzarote, se ha expuesto en el último capítulo, el capítulo 4, en el que se evidencia que el aumento un aumento de la inversión en un 856.700€ en el periodo de 2022 con respecto al 2019, coincide con una mejora en el resultado de los indicadores calculados con los datos obtenidos de esos mismos periodos, llegando a alcanzar incluso una mejoría de los resultados de hasta casi un 5% en el caso de los indicadores de Porcentaje de agua reciclada y el Índice de eficiencia en el uso del agua.

Siendo de vital importancia la creación de políticas de ahorro y mejora de la eficiencia del proceso de tratamiento del agua y en la gestión de la misma, sobre todo en Lanzarote ya que la isla ha sufrido una creciente demanda de este elemento en los últimos años por el gran aumento demográfico y el impacto del sector turístico.

Es por ello por lo que la mayoría de las propuestas establecidas por parte de la UE están basadas en la EC, ya que es un modelo económico basado en el ahorro y la reutilización, siendo la tecnología una herramienta clave para poder lograr los objetivos establecidos.

En resumen, una mayor inversión en infraestructura se traduce en una mejora de los indicadores de EC, lo que implicaría a su vez un mayor ahorro y mejora de la eficiencia en el proceso de tratamiento del agua, acercando así a la isla de Lanzarote al cumplimiento de la Normativa Europea y logrando un mejor funcionamiento de las plantas de depuración de la isla.

BIBLIOGRAFÍA

Brears, R.C. (2020). Developing the Circular Water Economy: Recover. In: Developing the Circular Water Economy. Palgrave Studies in Climate Resilient Societies. Palgrave Pivot, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32575-6_7

Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177(121508), 121508. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>

Cipriano Marín Cabrera, C. y PRESTA Servicios Ambientales S.L. (2008) "Medio Ambiente en Canarias. Informe de Coyuntura 2008", Gobierno de Canarias, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial.

González Navarro, J. y Lin-Yang, Z. (2021) "Informe de coyuntura canario 2014-2020", Gobierno de Canarias, Consejería de Transición Ecológica, Lucha Contra el Cambio Climático y Planificación Territorial.

Iacovidou, E., Velis, C. A., Purnell, P., Zwirner, O., Brown, A., Hahladakis, J., Millward-Hopkins, J., & Williams, P. T. (2017). Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 166, 910-938. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.100>

Kalemba, K. (2020). Circular economy in wastewater treatment plant. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 13(4), 93–97. <https://doi.org/10.21307/acee-2020-033>

Liu, Q., Yang, L., & Yang, M. (2021). Digitalisation for water sustainability: Barriers to implementing circular economy in smart water management. *Sustainability*, 13(21), 11868. <https://doi.org/10.3390/su132111868>

Mannina, G., Badalucco, L., Barbara, L., Cosenza, A., Di Trapani, D., Gallo, G., Laudicina, V., Marino, G., Muscarella, S., Presti, D., & Helness, H. (2021). Enhancing a transition to a circular economy in the water sector: The EU project WIDER UPTAKE. *Water*, 13(7), 946. <https://doi.org/10.3390/w13070946>

Martinho, V. J. P. D. (2021). Insights into circular economy indicators: Emphasizing dimensions of sustainability. *Environmental and Sustainability Indicators*, 10(100119), 100119. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100119>

Moreno, V. M., Leyva-Díaz, J. C., Llorens-Montes, F. J., & Cortés-García, F. J. (2017). Design of Indicators of Circular Economy as Instruments for the Evaluation of Sustainability and Efficiency in Wastewater from Pig Farming Industry. *Water*, 9(9), 653. <https://doi.org/10.3390/w9090653>

Reyes Forero I.A. (2021, junio). Estrategias de diseño de producto para una economía circular. *Revista UNAL Colombia*. 7-8. <https://doi.org/10.15446/actio.v5n1.96434>

Rusch, M., Schöggel, J.-P., & Baumgartner, R. J. (2022). Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3099>

Vural Gursel, I., Elbersen, B., Meesters, K. P. H., & van Leeuwen, M. (2022). Defining circular economy principles for biobased products. *Sustainability*, 14(19), 12780. <https://doi.org/10.3390/su141912780>

Recursos en línea

A European green deal. (s. f.). European Commission, recuperado a partir de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

Agua, energía y residuos. (s. f.). <https://www.datosdelanzarote.com/tema/agua-energia-y-residuos>

Depuración y reutilización Canal Gestión Lanzarote. (2016, febrero 8). Canal Gestión Lanzarote; Canal Gestión Lanzarote. <https://www.canalgestionlanzarote.es/inicio/nuestro-ciclo-integral-del-agua/depuracion-y-reutilizacion/>

Estrategia Española de Economía Circular y Planes de Acción. (s. f.). Gob.es., de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/estrategia/>

Press corner. (s. f.). European Commission - European Commission, recuperado a partir de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/fs_20_437

Primer plan de acción de economía circular. (s.f.). Ambiente, de https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en

Renewed sustainable finance strategy and implementation of the action plan on financing sustainable growth. (s. f.). Finance, recuperado a partir de https://finance.ec.europa.eu/publications/renewed-sustainable-finance-strategy-and-implementation-action-plan-financing-sustainable-growth_en

Somoza, P. M., & Somoza, P. M. (2023, 22 marzo). El consumo de agua potable vuelve a las ratios de prepandemia en Lanzarote superando los 12 millones de m³. *Canal Gestión Lanzarote* -. <https://www.canalgestionlanzarote.es/el-consumo-de-agua-potable-vuelve-a-los-ratios-de-prepandemia-en-lanzarote-superando-los-12-millones-de-m%C2%B3/>

Subdirección General de Economía Circular, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. España Circular 2030. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid. (2020).

Un pacto verde europeo. (s.f.). Comisión Europea, de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

WULCA. (2020, 5 diciembre). Water Footprint in Life Cycle Assessment (LCA) - WULCA. <https://wulca-waterlca.org/water-footprint-in-lca/>

Somoza, P. M., & Somoza, P. M. (2023, 22 marzo). El consumo de agua potable vuelve a las ratios de prepandemia en Lanzarote superando los 12 millones de m3. *Canal Gestión Lanzarote* -. <https://www.canalgestionlanzarote.es/el-consumo-de-agua-potable-vuelve-a-los-ratios-de-prepandemia-en-lanzarote-superando-los-12-millones-de-m%C2%B3/>

ANEXO 1: BASE DE DATOS.

La fuente a partir de la cual se ha obtenido la información del contenido de estas tablas es el Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote, (<https://www.datosdelanzarote.com/>).

Tabla de datos para el indicador “uso eficiente del agua”.

USO EFICIENTE DEL AGUA	2018	2019	2020	2021	2022
TOTAL PRODUCCIÓN AGUA POTABLE (m3)	24.698.675	26.137.020	26.565.976	27.152.578	28.172.408
CONSUMO TOTAL AGUA POTABLE (m3)	11.898.087	12.211.521	11.166.001	10.485.897	12.277.207
PRODUCCIÓN AGUA REGENERADA/REICLADA (m3)	2.929.445	3.175.911	2.338.705	2.579.920	3.749.155
CONSUMO AGUA REGENERADA/REICLADA (m3)	2.051.767	2.087.312	1.717.586	1.687.218	2.046.331

Tabla de datos para el indicador “reducción de residuo”.

REDUCCIÓN DE RESIDUO	2018	2019	2020	2021	2022
LODOS DE DEPURADORAS (Tn)	11.444,48	10.816,76	6.156,82	7.579,82	10.183,63
RESIDUOS DE CRIBADO (Tn)	617,32	765,92	608,78	554,78	658,52
RESIDUOS DE DESARENADO (Tn)	303,56	145,52	192,4	228,96	239,62
CANTIDAD TOTAL DE MATERIALES DE DESPERDICIO GENERADOS (Tn)	12.365,36	11.728,20	6.958,00	8.363,56	11.081,77
PRODUCCIÓN AGUA REGENERADA/REICLADA (m3)	2.929.445	3.175.911	2.338.705	2.579.920	3.749.155

Tabla de datos para el indicador “eficiencia energética”.

EFICIENCIA ENERGÉTICA	2018	2019	2020	2021	2022
CONSUMO DE ENERGÍA (Gw)	92	91	93,8		89,5
Lanzarote III	25	27,2	28,6		25
Lanzarote IV	32	31	33,1		32,8
Lanzarote V	18	18,8	19,1		18,8
Janubio	17	14	13		12,9

Tabla de datos para el indicador “intensidad energética”.

INTENSIDAD ENERGÉTICA	2018	2019	2020	2021	2022
Lanzarote III	0,27	0,30	0,30		0,28
Lanzarote IV	0,35	0,34	0,35		0,37
Lanzarote V	0,20	0,21	0,20		0,21
Janubio	0,18	0,15	0,14		0,14

Tabla de datos para el indicador “participación comunitaria”.

PARTICIPACIÓN COMUNITARIA	2018	2019	2020	2021	2022
NÚMERO DE PARTICIPANTES	71.582,00	72.438,00	73.048,00	74.053,00	74.914,00
POBLACIÓN TOTAL	204.194,00	205.910,00	170.379,00	174.482,00	202.118,00
TONELADAS DE RESIDUOS GENERADOS	12.365,36	11.728,20	6.958,00	8.363,56	11.081,77

ANEXO 2: ESTADOS DE INGRESOS Y GASTOS

La fuente a partir de la cual se ha obtenido la información del contenido de estas tablas es el Centro de Datos del Cabildo de Lanzarote (<https://www.datosdelanzarote.com/>).

ESTADO DE INGRESOS 2018		ESTADO DE GASTOS 2018	
Impuestos Directos	- €	Gastos de Personal	416.054,83 €
Impuestos Indirectos	- €	Gastos de bienes corrientes y servicios	432.000,00 €
Tasas y otros Ingresos	300.000,00 €	Gastos Financieros	37.500,73 €
Transferencias corrientes	236.000,00 €	Transferencias corrientes	225.000,00 €
Ingresos Patrimoniales	2.000.000,00 €	Imprevistos, Situaciones transitorias y Contingencias	14.000,00 €
Enajenación Inv. Reales	- €	Inversiones Reales	2.867.000,00 €
Transferencias de capital	1.900.000,00 €	Transferencias de capital	- €
Variación Activos Financieros	- €	Variación activos Financieros	- €
Variación Pasivos Financieros	- €	Variación Pasivos Financieros	444.444,44 €
TOTAL ESTADO DE INGRESOS	4.436.000,00 €	TOTAL ESTADO DE GASTOS	4.436.000,00 €

ESTADO DE INGRESOS 2019		ESTADO DE GASTOS 2019	
Impuestos Directos	- €	Gastos de Personal	442.887,41 €
Impuestos Indirectos	- €	Gastos de bienes corrientes y servicios	458.415,59 €
Tasas y otros Ingresos	380.000,00 €	Gastos Financieros	36.815,56 €
Transferencias corrientes	416.000,00 €	Transferencias corrientes	182.000,00 €
Ingresos Patrimoniales	1.607.500,00 €	Imprevistos, Situaciones transitorias y Contingencias	14.937,00 €
Enajenación Inv. Reales	- €	Inversiones Reales	2.724.000,00 €
Transferencias de capital	1.900.000,00 €	Transferencias de capital	- €
Variación Activos Financieros	- €	Variación activos Financieros	- €
Variación Pasivos Financieros	- €	Variación Pasivos Financieros	444.444,44 €
TOTAL ESTADO DE INGRESOS	4.303.500,00 €	TOTAL ESTADO DE GASTOS	4.303.500,00 €

ESTADO DE INGRESOS 2022		ESTADO DE GASTOS 2022	
Impuestos Directos	- €	Gastos de Personal	544.889,84 €
Impuestos Indirectos	- €	Gastos de bienes corrientes y servicios	1.022.460,55 €
Tasas y otros Ingresos	330.000,00 €	Gastos Financieros	44.505,17 €
Transferencias corrientes	36.000,00 €	Transferencias corrientes	194.000,00 €
Ingresos Patrimoniales	4.000.000,00 €	Imprevistos, Situaciones transitorias y Contingencias	30.000,00 €
Enajenación Inv. Reales	- €	Inversiones Reales	3.580.700,00 €
Transferencias de capital	3.000.000,00 €	Transferencias de capital	1.500.000,00 €
Variación Activos Financieros	- €	Variación activos Financieros	- €
Variación Pasivos Financieros	- €	Variación Pasivos Financieros	449.444,44 €
TOTAL ESTADO DE INGRESOS	7.366.000,00 €	TOTAL ESTADO DE GASTOS	7.366.000,00 €

² Los datos correspondientes a los años 2020 y 2021 han sido solicitados en la sede electrónica del consorcio del agua de Lanzarote el día 17 de noviembre de 2023 sin haber obtenido respuesta. ²