



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

## **ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y LA CONTAMINACIÓN DE LA SAL EN LA INDUSTRIA SALINERA DE ESPAÑA Y PORTUGAL**

Autor: Miguel Devesa Pérez

Director: María del Mar Cledera Castro

Co-Director: José Carlos Romero Mora

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Estudio de la sostenibilidad ambiental y la contaminación de la sal en la industria salinera  
de España y Portugal

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Miguel Devesa      Fecha: 22/ 07/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: María del Mar Cledera Castro      Fecha: 23/07/2024

EL CO-DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: José Carlos Romero Mora      Fecha: 23/07/2024





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y  
LA  
CONTAMINACIÓN DE LA SAL EN LA INDUSTRIA  
SALINERA  
DE ESPAÑA Y PORTUGAL**

Autor: Miguel Devesa Pérez

Director: María del Mar Cledera Castro

Co-Director: José Carlos Romero Mora

Madrid



# **Agradecimientos**

Agradecer a los tutores por su invaluable apoyo y orientación a lo largo de este proyecto. Sus consejos, paciencia y dedicación han sido esenciales para el desarrollo de este trabajo.





# **ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y LA CONTAMINACIÓN DE LA SAL EN LA INDUSTRIA SALINERA DE ESPAÑA Y PORTUGAL**

**Autor: Devesa Pérez, Miguel.**

Director: Cledera Castro, María del Mar; Romero Mora, José Carlos.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

El trabajo ha consistido en un Análisis de Ciclo de Vida de la sal en una salinera. Este análisis ha estudiado, haciendo uso de la herramienta de ecoauditoría, los gramos de dióxido de carbono que se emiten durante la producción de la sal. El principal causante de las emisiones es el consumo de diésel. Otra dimensión del análisis ha sido la contaminación de la sal por etapa, empleando los microplásticos como indicador.

**Palabras clave:** Sal, ecoauditoría, CO<sub>2</sub>, microplásticos

## **1. Introducción**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se han duplicado desde 1960 [1] y aunque actualmente el ritmo de aumento no sea el mismo no paran de crecer. Por otro lado, los microplásticos están presentes en cualquier lugar del mundo y no parece que esto vaya a mejorar. Ante esta situación surge la necesidad de buscar soluciones.

Aunque la industria salinera no destaque por sus emisiones de CO<sub>2</sub>, su alcance es considerable, en 2023 se produjeron 4 millones de toneladas de sal en España [2] y tiene 14.000 usos distintos [3].

Hasta que no descienda la demanda de microplásticos no parece que esta problemática vaya a disminuir, la ONU declaró en 2017 que había hasta 51.000 millones de partículas microplásticos en el mar [4]. A su vez, estos microplásticos acaban potencialmente en la sal alimentaria.

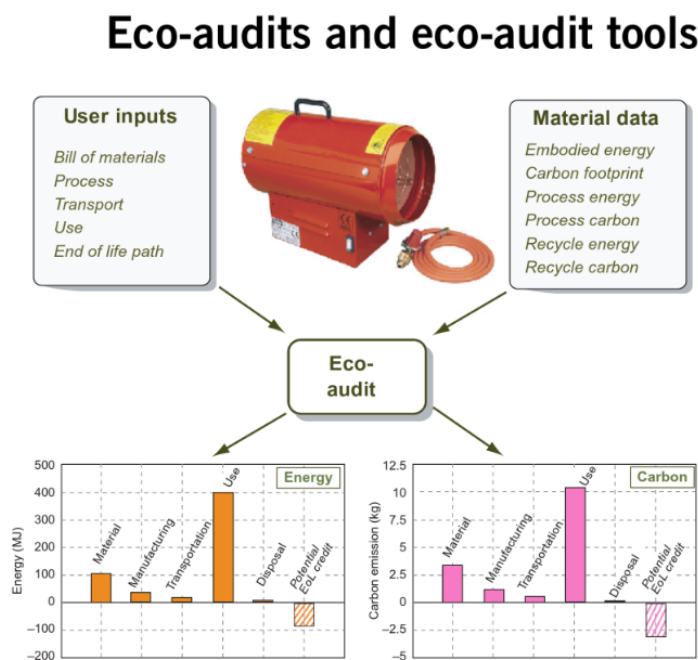
## 2. Definición del proyecto

El proyecto tiene como objetivo identificar las etapas del proceso de producción de sal donde tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> como la cantidad de microplásticos por kilogramo de sal aumentan, y encontrar posibles soluciones. Se llevará a cabo utilizando la Ecoauditoría, una herramienta del Análisis de Ciclo de Vida.

## 3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El Análisis de Ciclo de Vida es definido por la Norma ISO 14040 de la siguiente manera: “técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto” [5].

Este se complementará con una Ecoauditoría que seguirá el esquema representado en la Figura 1:



En el Reglamento Europeo de junio de 1993 como un “instrumento de gestión que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la eficacia de la organización, el sistema de gestión y los procedimientos destinados a la protección del medio. Los objetivos de esta serían los siguientes: 1) Facilitar el control de las practicas que pueden tener efecto sobre el medio ambiente, 2) evaluar su adecuación a las políticas medioambientales de la empresa” [6].

#### **4. Resultados**

- Se ha concluido que gran parte del CO<sub>2</sub> emitido durante la producción de la sal procede del consumo de diésel.
- Los microplásticos están presentes en la sal previamente a la entrada del sistema y aunque disminuyen en ningún momento desaparecen y se intensifican en la etapa del secado a la intemperie.

#### **5. Conclusiones**

Las conclusiones obtenidas de este trabajo indican que, dado el grave problema que enfrenta el mundo en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>, cualquier cambio es significativo. La principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> en el proceso de producción de sal es el consumo de diésel. En cuanto a la contaminación por microplásticos, se observa que esta disminuye a medida que la sal avanza por el sistema, pero vuelve a aumentar durante el secado al aire libre.

#### **6. Referencias**

- [1] *CO<sub>2</sub> Emissions in 2023 – Analysis—IEA*. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2024, de <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>

- [2] *Sal: Principales países productores 2023*. (s. f.). Statista. Recuperado 14 de julio de 2024, de <https://es.statista.com/estadisticas/600883/paises-lideres-en-la-produccion-de-sal-a-nivel-mundial/>
- [3] Calvo Rebollar, M. (2017). El mineral de los 14.000 usos. La utilización de la sal a lo largo de la historia. *De re metallica ( Madrid ): revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, 28 (Enero-Junio), 5-24.
- [4] Orellana Ulloa, V. P. (2023). Relación entre la distancia de centros urbanos y la cantidad de micro plásticos provenientes de los cuerpos de abejas (*Apis mellifera*) de las colmenas de apicultores de la zona periurbanas del cantón Gualaceo [masterThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25225>
- [5] *ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental—Análisis del ciclo de vida—Principios y marco de referencia*. (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2024, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- [6] *III Jornadas de Educación Ambiental*. (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2024, de <https://www.miteco.gob.es/ca/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.html>



# **STUDY OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND SALT POLLUTION IN THE SALT INDUSTRY OF SPAIN AND PORTUGAL**

**Author: Devesa Pérez, Miguel**

Supervisor: Cledera Castro, María del Mar; Romero Mora, José Carlos. .

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

The work has consisted of a Life Cycle Analysis of salt in a saltworks. This analysis has studied, using the eco-auditing tool, the grams of carbon dioxide emitted during the production of salt. The main cause of emissions is diesel consumption. Another dimension of the analysis has been the pollution of salt by stage, using microplastics as an indicator.

**Keywords:** Salt, eco-audit, CO<sub>2</sub>, microplastics

## **1. Introduction**

CO<sub>2</sub> emissions have doubled since 1960 [1] and although the current rate of increase is not the same, they continue to grow. On the other hand, microplastics are present everywhere in the world and there seems to be no improvement in sight. Given this situation, the need to find solutions arises.

Although the salt industry is not known for its CO<sub>2</sub> emissions, its reach is considerable; in 2023, 4 million of tons of salt were produced in Spain [2], and it has 14,000 different uses [3].

Until the demand for microplastics decreases, it does not seem that this problem will diminish. The UN declared in 2017 that there were up to 51 billion microplastic particles in the sea [4]. In turn, these microplastics potentially end up in table salt.

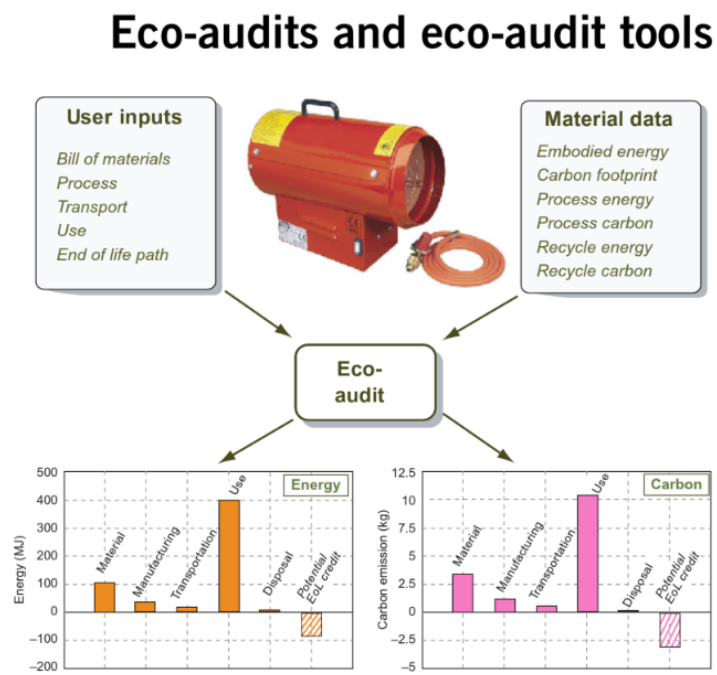
## **2. Project Definition**

The project aims to identify the stages of the salt production process where both CO2 emissions and the amount of microplastics per kilogram of salt increase, and to find possible solutions. It will be carried out using Eco-audit, a Life Cycle Analysis tool.

### 3. Description of the Model/System/Tool

Life Cycle Analysis is defined by ISO Standard 14040 as follows: "technique to determine the environmental aspects and potential impacts associated with a product: by compiling an inventory of relevant inputs and outputs of the system, evaluating the potential environmental impacts associated with these inputs and outputs, and interpreting the results of the inventory and impact phases" [5].

This will be complemented by an Eco-audit that will follow the schema represented in Figure 1:



### 4. Results

- It has been concluded that almost all the CO<sub>2</sub> emitted during salt production comes from diesel consumption.
- Microplastics are present in the salt prior to entering the system, and although they decrease, they never disappear completely and intensify during the outdoor drying stage.

## 5. Conclusions

The conclusions drawn from this work indicate that, given the serious problem the world faces in terms of CO<sub>2</sub> emissions, any change is significant. The main source of CO<sub>2</sub> emissions in the salt production process is diesel consumption. Regarding microplastic pollution, it is observed that this decreases as the salt moves through the system but increases again during outdoor drying.

## 6. References

- [1] *CO<sub>2</sub> Emissions in 2023 – Analysis—IEA*. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2024, de <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
- [2] *Sal: Principales países productores 2023*. (s. f.). Statista. Recuperado 14 de julio de 2024, de <https://es.statista.com/estadisticas/600883/paises-lideres-en-la-produccion-de-sal-a-nivel-mundial/>
- [3] Calvo Rebollar, M. (2017). El mineral de los 14.000 usos. La utilización de la sal a lo largo de la historia. *De re metallica ( Madrid ): revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, 28 (Enero-Junio), 5-24.



- [4] Orellana Ulloa, V. P. (2023). Relación entre la distancia de centros urbanos y la cantidad de micro plásticos provenientes de los cuerpos de abejas (*Apis mellifera*) de las colmenas de apicultores de la zona periurbanas del cantón Gualaceo [masterThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25225>
- [5] *ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental—Análisis del ciclo de vida—Principios y marco de referencia.* (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2024, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- [6] *III Jornadas de Educación Ambiental.* (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2024, de <https://www.miteco.gob.es/ca/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.html>

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>Capítulo 2. Estado del arte .....</b>	<b>8</b>
2.1 Usos de la sal.....	9
2.2 Producción de la sal.....	13
2.3 Producción en España .....	16
2.4 Cómo funciona una salinera costera.....	17
<b>Capítulo 3. Definición del Trabajo .....</b>	<b>23</b>
3.1 Justificación.....	23
3.2 Objetivos .....	24
3.3 Objetivos de desarrollo sostenible.....	24
3.4 Metodología.....	26
3.4.1 Análisis de Ciclo de Vida .....	27
3.4.2 Ecoauditoría.....	28
3.5 Planificación.....	30
<b>Capítulo 4. Emisiones CO2.....</b>	<b>31</b>
4.1 Estadísticas Globales.....	32
4.2 Situación en la Industria Salinera.....	34
<b>Capítulo 5. Microplásticos.....</b>	<b>35</b>
5.1 Información General Microplásticos .....	35
5.2 La problemática de los microplásticos .....	36
5.3 Dónde se encuentran .....	37
<b>Capítulo 6. Análisis de Ciclo de Vida.....</b>	<b>39</b>
6.1 Ecoauditoría.....	39
6.1.1 Análisis del Escenario de Partida .....	39
6.1.2 Definición del Estudio .....	41
6.1.3 Cálculos.....	46
6.1.4 Análisis de Resultados.....	52
6.2 Contaminación de la sal .....	55
6.2.1 Objetivo y Alcance del estudio .....	55

---

6.2.2 <i>Análisis de Inventario e Impacto</i> .....	57
6.2.3 <i>Interpretación de los Resultados</i> .....	59
<b>Capítulo 7. <i>Importancia Medioambiental de la Industria Salinera</i></b> .....	<b>62</b>
7.1 Beneficios Medioambientales .....	62
7.2 Oportunidades de Conservación y Desarrollo Sostenible .....	64
<b>Capítulo 8. <i>Conclusiones y Trabajos Futuros</i></b> .....	<b>65</b>
8.1 Conclusiones .....	65
8.2 Trabajos Futuros .....	67
<b>Capítulo 9. <i>Bibliografía</i></b> .....	<b>68</b>

## *Índice de figuras*

Figura 1: Exportación de la sal .....	6
Figura 2: Usos de la sal producida en España .....	10
Figura 3: Producción por Comunidad Autónoma .....	17
Figura 4: Esquema simplificado del funcionamiento de una salina .....	20
Figura 5: Esquema Análisis Ciclo de Vida.....	27
Figura 6: Esquema Ecoauditoría.....	29
Figura 7: Emisiones mundiales de CO2 de 1995 a 2023.....	32
Figura 8: Aportación a las emisiones totales de CO2 por industria .....	34
Figura 9: Datos de entrada al sistema de la producción de la sal .....	40
Figura 10: Esquema etapas salina.....	45
Figura 11: Emisiones gramos CO2 por kWh.....	45
Figura 12: Emisiones de gramos de CO2 por kg de sal en cada etapa .....	53
Figura 13: Microplásticos por punto de muestreo en la salina referencia por L .....	57
Figura 14: Número de Microplásticos por punto de muestreo por kg de sal .....	58

## *Índice de tablas*

Tabla 1: % de emisiones de CO2 por país sobre el global ..... 33

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

La sal es un mineral esencial que ha desempeñado un papel fundamental en la historia de la humanidad. A lo largo de los siglos, la sal ha sido un recurso preciado y una mercancía valiosa, a menudo asociada con el poder y la riqueza, utilizada como una de las primeras formas de moneda, de ella surge la palabra “salario” como una de las primeras formas de pago por el trabajo realizado [2]. La sal es una sustancia natural que abunda en la corteza terrestre. En su forma más común, se encuentra como cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), un compuesto químico que se presenta en forma de cristal. Además de ser un bien insustituible, la sal no solo es de gran utilidad como ingrediente alimenticio, sino que también como elemento químico en laboratorios o procesos industriales y desempeña un papel fundamental en la prevención de la congelación de carreteras, entre otros usos.

Similar a la importancia que el petróleo tiene en la era moderna, la producción de sal ha sido fundamental para el uso humano a lo largo de la historia [15], marcando épocas y transformando industrias. Los primeros usos registrados de la sal se remontan a cuando el ser humano paso de ser cazadores nómadas a granjeros sedentarios y está desarrollo un papel fundamental en la evolución de la gastronomía y la sociedad en general [3]. Los primeros usos de la sal, diferentes a la alimentación, datan de la época del emperador chino Huangdi en 2670 a.d.C. Sin embargo, la extracción de sal no comenzó hasta alrededores del 1000 a.C. en Hallstatt, siendo posiblemente la mina más antigua del mundo [3]. En España, no fue hasta mediados del siglo XX que la industria de la sal experimentó transformaciones y avances significativos, conduciendo a la consolidación de una red industrial de dimensiones adecuadas [1]. Actualmente, España es parte de los principales productores de sal del mundo.

Tanto España como Portugal poseen extensas líneas costeras y condiciones climáticas propicias para el desarrollo de la industria salinera, convirtiéndolos en países exportadores de sal. Como se muestra en la Figura 1, en el año 2021, a nivel global, se exportó sal por un valor total de \$3,93 mil millones siendo el 599to producto más comercializado del mundo y representando un 0,019% del comercio total, España contribuyó con el 5,18% de esta cifra, situándose como el séptimo país en términos de exportación de sal [5]. Esta producción implica la necesidad de cubrir los puestos de trabajo correspondientes, evidenciando así la importancia de la industria tanto a nivel mundial como nacional.

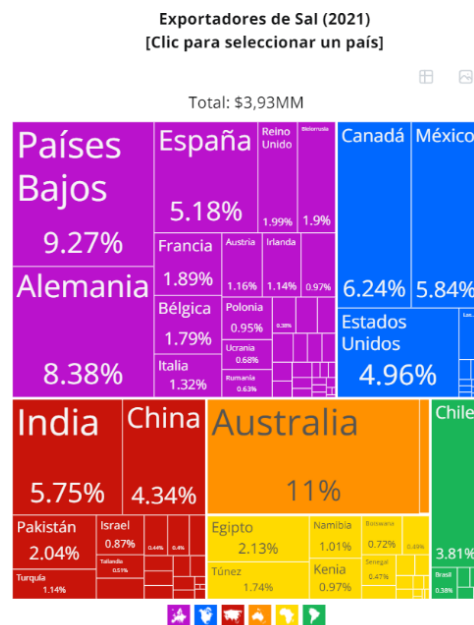


Figura 1: Exportación de la sal [OEC]

La extracción de la sal se consigue mediante dos vías diferentes, beneficio de salmueras naturales (salinas marinas y salinas de interior) y laboreo minero (explotaciones de halita o de este mineral juntamente con sales potásicas) [4]. Este trabajo se enfocará en las salmueras marinas de evaporación natural.

El proceso de obtención de la sal marina y de la sal de manantial se basa en la evaporación natural del agua marina o de aguas continentales concentradas en cloruro de sodio. Este

proceso se logra gracias a la combinación del calor solar y la acción del aire. La recolección de la sal, comúnmente conocida como cosecha, generalmente tiene lugar durante el verano. Las instalaciones utilizadas en este proceso constan de depósitos de concentración y balsas de evaporación-precipitación. [4]

La producción de sal marina está presente en varias provincias de España, incluyendo Tarragona, Alicante, Murcia, Almería, Baleares, Huelva, Cádiz y Las Palmas. Esta industria está fuertemente condicionada por los agentes meteorológicos, lo que la convierte en una actividad estacional. No obstante, en algunos lugares como en Torrevieja y La Mata la producción se mantiene durante todo el año debido a la presencia de dos acuíferos independientes de alta salinidad sumado al agua marina que utilizan [6].

Las salineras de evaporación solar, las cuales serán objeto del estudio, tienen un coste de producción bajo por la poca maquinaria involucrada. Además, estas salinas crean paisajes únicos cuya existencia en otras circunstancias no sería posible. Sin embargo, debido a la exposición de la sal al aire ésta, inevitablemente, se contamina de microplásticos, partículas sólidas de tamaño inferior a 5 mm, que no son solubles en agua y cuya degradabilidad es baja. Esto fue la conclusión de un TFG previo a este cuyo uno de los objetivos era determinar el origen de estos microplásticos en la sal [8].

Este proyecto pretende estudiar la sostenibilidad ambiental de una salina mediante un Análisis de Ciclo de Vida haciendo uso de la herramienta de Ecoauditoría con la que siguiendo el guion establecido que se presentará más adelante se calcularán los gramos de CO<sub>2</sub> emitidos durante el proceso de producción de la sal desglosando estas emisiones por fase.

Para añadir una dimensión y más valor a este Análisis de Ciclo de Vida, se examinará la contaminación de la sal durante el proceso. Para cumplir con este cometido, se utilizarán los microplásticos presentes por kilogramo de sal en cada etapa como indicadores.



## **Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE**

Hoy en día, la problemática ambiental es de carácter general, y por ello tanto los gobiernos de los países como su población tienen la responsabilidad de hallar soluciones y aplicarlas. Esta mentalidad no ha estado presente siempre, no fue hasta 1972 cuando por iniciativa del Gobierno de Suecia a las Naciones Unidas se reúne a los principales países para discutir la importancia de la conservación del medio ambiente.

En 1972 se celebra la primera Conferencia Mundial sobre el Medio Humano de las Naciones Unidas en Estocolmo siendo esta la primera vez que se ponía el foco en las cuestiones ambientales. En ella se redactó la Declaración de Estocolmo, que contenía 26 principios y marcó el comienzo de un diálogo entre países industrializados y en desarrollo sobre la relación entre el crecimiento económico, la contaminación del aire, el agua y los océanos, y el bienestar global [14].

Sin embargo, actualmente no existe una definición uniforme sobre la Auditoría Medio Ambiental y sigue siendo objeto de debate y estudio académico. A pesar de ello, el Gobierno de España se basa en la definición del Reglamento Europeo de 1993: “instrumento de gestión que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la eficacia de la organización, el sistema de gestión y los procedimientos destinados a la protección del medio”.

Debido a que es un término moderno y poco explorado, prácticamente no hay estudios o trabajos que utilicen esta herramienta aplicándola a la industria salinera.

No obstante, como se ha expuesto previamente, las actividades salineras se han practicado desde la antigüedad. Por ende, existen normativas que establecen los límites regulatorios de la industria.

La última actualización se realizó en 2011 cuando el Real Decreto 1634/2011 modificó el Real Decreto de 1983, introduciendo cambios significativos en la regulación de la sal marina. Se añadieron definiciones para la sal marina virgen y la flor de sal, y se ajustó el contenido mínimo de cloruro sódico necesario para que un producto pueda denominarse "sal". Este contenido se estableció en un 97% en materia seca para la sal común y en un 94% para la sal marina virgen y la flor de sal. Si un producto no alcanza estos niveles, se requiere aplicar técnicas de refinado, que pueden eliminar oligoelementos, por lo que se añade yodo y flúor para compensar esta pérdida. Además, se introdujo una disposición de reconocimiento mutuo, que permite que la normativa no se aplique a sales comercializadas legalmente en otros países de la Unión Europea, la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC) o con acuerdos de asociación aduanera con la UE.

## ***2.1 USOS DE LA SAL***

La sal, con su presencia omnipresente en nuestra vida diaria, desempeña un papel fundamental en numerosos ámbitos. Más allá de realzar el sabor de los alimentos, su importancia se extiende a la industria, medicina y conservación de alimentos. La sal tiene más de 14.000 usos [13] y la industria los clasifica en 5 grupos y otro de usos varios [3]. En España en 2023, la producción de sal alcanzó aproximadamente los 4 millones de toneladas [37].

En la Figura 2 se pueden observar los datos de producción de sal en España en el año 2019, el 38,6% de la producción se destinó a aplicaciones industriales, siendo las exportaciones un componente crucial al representar un 27,9%. En contraste, solo el 15,3% se destinó a la industria alimentaria, mientras que el 18,5% restante fue para diversos usos, los más importantes se verán detalladamente a continuación. Cabe destacar que la sal marina es la que presenta la mayor variedad de aplicaciones y usos [6].

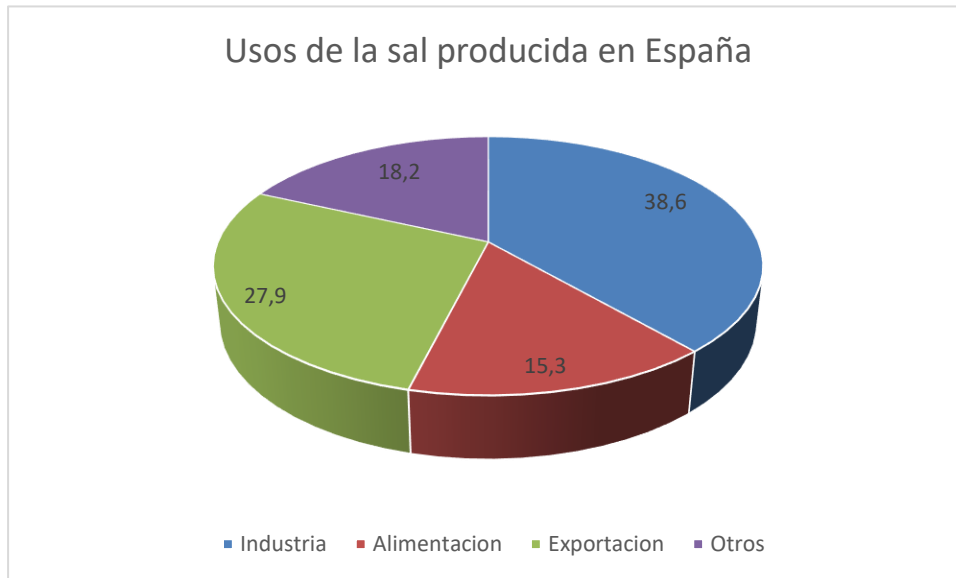


Figura 2: Usos de la sal producida en España [Elaboración Propia]

Los grupos en los que los clasifica la industria son sal de mesa y procesamiento de alimentos, agricultura, tratamiento de aguas, químico (industrial), antihielo y deshielo, y varios.

#### Sal de Mesa y Procesamiento de Alimentos

La sal desempeña diversas funciones en el procesado de alimentos, como potenciador del sabor, conservante, aglutinante, aditivo de control de la fermentación, agente de control de la textura y revelador del color. Aunque sólo un pequeño porcentaje de los millones de toneladas de sal que se producen anualmente llega directamente a las mesas, se utiliza ampliamente en las industrias de procesamiento de alimentos, como las de envasado de carne, enlatado, horneado, productos lácteos y cereales.

La sal es reconocida por sus ventajas únicas como vehículo para el enriquecimiento con micronutrientes, en particular para hacer frente a los trastornos por carencia de yodo (IDD), las enfermedades bucodentales como la caries dental, la carencia de hierro que conduce a la

anemia ferropénica (IDA). Asimismo, la sal también es clave en la prevención de los defectos de cierre del tubo neural (DTN) y la anemia.

En el ámbito del procesamiento de alimentos, se destaca la utilización de sal nitrada en combinación con nitrito para la preservación de alimentos. La sal dendrítica se emplea para condimentar aperitivos. La sal encapsulada implica recubrir el cloruro de sodio con grasas u aceites para una liberación controlada, siendo beneficiosa en aplicaciones de procesamiento de alimentos. Debido a las preocupaciones sobre el sodio en la dieta y la hipertensión, sustitutos y productos bajos en sodio son usados. Potenciadores de sal como el glutamato monosódico realzan el sabor salado, mientras que sustitutos de sal como el cloruro de potasio y el sulfato de magnesio proporcionan un sabor salado [3].

### Agricultura

La sal es un elemento tan esencial para los animales como lo es para los seres humanos, ya que desempeña un papel crucial en las funciones fisiológicas, el mantenimiento de la presión osmótica y el equilibrio ácido-base. Los animales suelen carecer de suficiente sodio y cloruro, por lo que la suplementación con sal es vital para una dieta nutricionalmente equilibrada [3].

### Tratamiento de aguas

En el tratamiento del agua, la sal se emplea para ablandar el agua y eliminar el exceso de iones de calcio y magnesio, evitando la acumulación de depósitos minerales. Los iones de sodio de la sal se intercambian por iones de calcio y magnesio, y es necesario recargarla periódicamente. El cloruro sódico también se utiliza en procesos de desinfección del agua, donde puede electrolizarse in situ para piscinas o agua potable, utilizando diferentes tipos de sal, como sal gema, sal solar y sal evaporada [3].

### Industrial

La sal es una materia prima crucial en la industria química, ya que constituye más del 50% de la síntesis de productos químicos. Es esencial para la producción de cloro y sosa cáustica mediante electrólisis de salmuera. Se necesitan aproximadamente 1,75 toneladas de sal para producir 1 tonelada de cloro y 1,1 toneladas de coproducto sosa cáustica. El cloro, un desinfectante ampliamente utilizado, desempeña un papel vital en diversas industrias, como la medicina, los plásticos y el tratamiento del agua. Mientras que la sosa cáustica forma parte integral de las operaciones de fabricación de pasta y papel, detergentes y productos químicos, con aplicaciones en el tratamiento del agua y diversos procesos industriales. Además, la ceniza de sosa, otro derivado de la sal es esencial para la fabricación de vidrio y la producción de compuestos de sodio utilizados en diversas industrias como la de la pasta y el papel. [3]

### Deshielo

El segundo uso más importante de la sal es el deshielo de carreteras en regiones nevadas en todo el mundo, siendo crucial para la seguridad vial. La sal contribuye a reducir el punto de congelación del agua. Por otro lado, el proceso de antihielo, que implica la aplicación de salmuera antes de nevadas o heladas, previene la adherencia del hielo y disminuye el consumo de sal en las carreteras. Aunque la sal es un agente de control del hielo rentable y fácilmente disponible, su eficacia disminuye por debajo de los  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lo que requiere aumentar su aplicación para lograr resultados de fusión similares. Este uso es fundamental para evitar la paralización de carreteras e infraestructuras, permitiendo una actividad económica continua durante todo el año [3].

### Varios

Entre otros usos destacan la industria textil como blanqueante, en la papelera como potenciador de alcalinidad y blanqueante y en la electrónica potenciando la conductividad.

## **2.2 PRODUCCIÓN DE LA SAL**

A lo largo de este trabajo, se ha abordado la relevancia histórica y omnipresencia de la sal en la vida cotidiana desde tiempos antiguos, manifestándose en todas las sociedades. A continuación, se expondrán todas las formas naturales en las que esta valiosa sustancia puede encontrarse.

La manifestación más común de la sal es en estado líquido, conocido como salmuera. En este caso, las condiciones climáticas suelen jugar un papel crucial en la obtención del grano de sal. Se pueden distinguir dos formas principales de obtener la salmuera:

En primer lugar, están las salinas de manantial, que obtienen agua salada subterránea que puede llegar a la superficie de manera natural o mediante bombeo. Estas salinas, ubicadas en el interior del país, son especialmente abundantes en España, que cuenta con una gran cantidad de ellas. Se alimentan de manantiales, arroyos o lagunas de agua salada y utilizan métodos artesanales tradicionales sin maquinaria moderna. Actualmente, producen 126.000 toneladas anuales. Sin embargo, su número ha disminuido debido a factores como el éxodo rural, la alta demanda de trabajo manual, la baja competitividad y la dependencia de las condiciones climáticas [7].

En segundo lugar, la salina costera aprovecha el agua del mar o de las marismas costeras. Este líquido puede ingresar a la instalación de manera natural, a través de procesos como las mareas, la acción de la gravedad, las tormentas y filtraciones, o mediante bombeo. Estas salinas producen 1.169.000 toneladas anuales [3].

La última forma de encontrar la sal es en estado sólido, a través de la explotación minera. Este proceso implica la extracción de halita o la obtención conjunta de este mineral con sales potásicas. A diferencia de la obtención de salmuera, este método es más industrial y no está generalmente sujeto a las condiciones climáticas. La sal obtenida a través de este proceso tiene un bajo contenido de metales pesados, ausencia de materia orgánica y alta pureza.

Los distintos métodos de obtención del mineral son los siguientes:

### Evaporación solar

Es el método de producción más antiguo. La sal obtenida mediante este método se conoce como “sal solar” y se refiere a la sal cristalizada obtenida a partir de agua de mar, lagos salados y salmuera mediante la continua evaporación y cristalización con energía solar y la acción del viento en balsas poco profundas. Para que este proceso sea efectivo, se requieren condiciones climáticas adecuadas y la ausencia de precipitaciones, con el fin de evitar la disminución de la concentración de sal en la salmuera. En algunas salinas, se han implementado métodos como invernaderos para prevenir estos sucesos. Así se consigue una mayor producción y mejor calidad del producto. [3]

### Evaporación forzada o ígnea

Este método sigue una lógica similar al anterior, pero con un cambio en la fuente de calor. En este caso, la salmuera se introduce en recipientes metálicos y, mediante la utilización de un combustible que genere calor, se lleva a cabo la evaporación. Dado que este método no depende de las condiciones climáticas, permite una producción continua a lo largo de las distintas estaciones. Sin embargo, desde una perspectiva sostenible, presenta desventajas. Al igual que en el método previo, es crucial protegerlo de las precipitaciones y la salmuera puede provenir tanto del mar como de manantiales [3].

### Vacuum o evaporación al vacío

Este método implica la aplicación de calor externo a la salmuera y la reducción de la presión para disminuir el punto de evaporación del agua. Este proceso facilita la obtención de sal con mayor pureza, preservando sus características naturales de manera más efectiva. Pero la purificación de la salmuera puede generar residuos por iones extraños en la sal cruda. Además, este método permite la elaboración de sal a lo largo de todo el año [3].

## Minería

Finalmente, este procedimiento se realiza mediante la aplicación de técnicas tradicionales de minería. Alternativamente, se puede buscar la obtención de salmuera artificial al aplicar agua a estos sólidos y posteriormente emplear uno de los métodos recién explicados. Por lo general, la sal obtenida a través de la minería no se destina al uso alimenticio, sino que tiene propósitos industriales y químicos [3].

Es fundamental destacar que en ciertas salinas se llevan a cabo múltiples procesos simultáneamente. Este es el caso de las salinas de Jumsal en Jumilla, Murcia. En este lugar, se obtiene la sal al disolver la halita mediante la inyección de agua en cavidades estables. Posteriormente, parte del producto final se obtiene mediante evaporación solar, mientras que el resto se obtiene aplicando el método de vacuum.

La sostenibilidad de las salinas está relacionada con el método aplicado, también con el nivel de industrialización utilizado. Este nivel puede ser: industrial (empleo de maquinaria y producción a gran escala), semi-industrial (empleo de maquinaria, pero a pequeña escala), artesanal (trabajo realizado a mano) y primitiva (producción de forma natural sin intervención humana)

Como ya se ha mencionado previamente, hay que refinar la sal cuando el cloruro de sodio está por debajo de los mínimos establecidos en la ley. El uso de maquinaria ayuda a que esto ocurra.

Cabe destacar que hay varios tipos de sal entre la que destaca la “fleur de sel”. Esta, debido a su método de producción artesanal y su perfil mineral único, tiene un valor económico más alto. Se forma en la superficie de las salmueras sobresaturadas en condiciones específicas de evaporación. Se recolecta manualmente con skimmers cuando los cristales de sal flotan en la superficie del agua en los cristalizadores. Este proceso es intensivo en mano de obra y



requiere condiciones meteorológicas óptimas, como baja humedad y temperaturas altas. Su composición química difiere de la sal común, que suele tener una concentración de NaCl del 99%. En el caso de la “fleur de sel”, la concentración de NaCl varía entre el 87% y el 96%, y contiene mayores cantidades de otros elementos como magnesio, azufre, potasio y bromo, especialmente hacia el final de la temporada de recolección. La “fleur de sel” es conocida por su textura crujiente y su sabor delicado, lo que la convierte en un condimento gourmet apreciado en la alta cocina. Sus cristales son más grandes y menos densos que los de la sal común, proporcionando una experiencia sensorial única [38].

### **2.3 PRODUCCIÓN EN ESPAÑA**

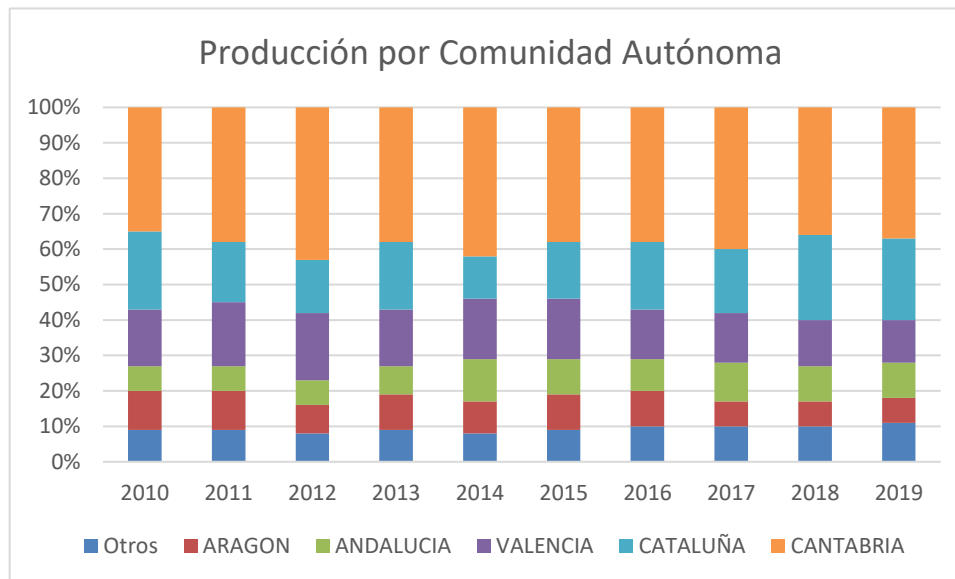
España se destaca como uno de los principales exportadores de sal a nivel mundial, gracias a una combinación única de factores que le otorgan una ventaja sobre el resto de los productores. La producción de sal en España se distribuye de la siguiente manera, el 70% de la producción proviene de sal gema, mientras que el 27% tiene su origen en la sal marina, y solo un 3% de sal manantial [4]. A continuación, se explorará los motivos de que esto sea así.

La geografía de España, con sus extensas costas, proporciona oportunidades significativas para la obtención de cloruro de sodio. Además, el clima mediterráneo predominante en la mayoría de la península contribuye positivamente a la producción.

Además, existen numerosas salinas de interior, muchas de las cuales tienen origen marino. Este fenómeno tiene sus raíces hace 200 millones de años, en el Triásico Superior, cuando la parte occidental de la Península Ibérica se encontraba sumergida en el Mar de Tethys [7].

Durante este periodo se dio lugar a ciclos de evaporación y reapariciones del mar y como consecuencia cuando, finalmente, este mar se retiró se formaron capas de sales sobre el suelo. Después, por procesos tectónicos, las capas se fragmentaron y parte quedaron cerca de la superficie, dando después la aparición de manantiales salinos [7].

Aunque esta producción está distribuida por toda la península, hay provincias que destacan por encima de otras y algunas que no tienen producción como se puede ver en la Figura 3. La producción se distribuye de la siguiente manera:



*Figura 3: Producción por Comunidad Autónoma [Elaboración propia]*

## **2.4 CÓMO FUNCIONA UNA SALINERA COSTERA**

En este trabajo las salineras costeras son el objeto de estudio, por ello a continuación se explicará su funcionamiento en detalle. Como ya se ha expuesto con anterioridad, el 27% de la sal producida en España tiene su origen en las salineras marinas por lo que se puede hacer una idea de la inmensa importancia que tienen estas.

El agua de mar es muy rica en componentes, pero, en concentración, el cloruro de sodio es el más importante, con 28g/l de media, no obstante, esta puede variar dependiendo de la ubicación y profundidad, siendo mayor en los mares interiores. También, el agua de mar contiene cantidades considerables de magnesio, sulfuro y calcio los cuales también son relevantes en el proceso [3].

Como se ha comentado previamente, las condiciones climatológicas en este proceso son fundamentales. En concreto, para que la producción sea económica, la cantidad de agua evaporada debe exceder la cantidad de precipitación por un largo periodo de al menos tres meses. Además, se requiere que el suelo sea lo más impermeable posible. Por otro lado, es idóneo que las balsas que contengan la salmuera o la solución salada estén lo más niveladas posible y que a su vez estas estén por debajo del nivel del mar, de esta forma se optimizará el diseño de la salina evitando el uso de bombas de agua. Además, cuanto más largo sea el recorrido del agua, mayor es la concentración de sal y más rápido se produce la cristalización, lo que hace rentable la producción [12].



*Ilustración 1: Salinas del Odiel*

A medida que el agua de mar atraviesa el sistema, se desplaza de una balsa a otra. Durante este proceso, la concentración de cloruro de sodio de media aumenta de 28 g/l a 260 g/l. En este punto, la salmuera comienza a depositar su sal, pero es importante destacar que gran

parte del carbonato de calcio y del sulfato de calcio ya ha cristalizado. Sin embargo, las sales de magnesio siguen concentrándose sin cristalizar.

A parte del proceso fisicoquímico también se da un proceso biológico de igual importancia y es que sorprendentemente, aunque la salinidad aumente, la vida en las balsas de salmuera continua. Los organismos del agua de mar desaparecen mientras que se originan otros nuevos y como no hay competición este ecosistema tan hostil proliferan con facilidad. Esta vida nueva surge en los diferentes puntos del proceso, según la salinidad de la salmuera se origina uno u otro organismo. El más importante de todos ellos es la *Artemia salina* la cual se origina en las balsas cuya salinidad se considera intermedia. Gracias a estos microorganismos el proceso se ve beneficiado ya que estos incrementan la permeabilidad de las balsas, tiñen la salmuera en los cristalizadores de rojo aumentando la velocidad de evaporación por acción solar y, por último, mantienen las condiciones apropiadas en las balsas de evaporación y cristalizadores.

### Etapas de Producción

La imagen muestra las diferentes etapas de producción desde que el agua de mar entra en la salina hasta que se empaqueta. Este proceso se muestra en la Figura 4:

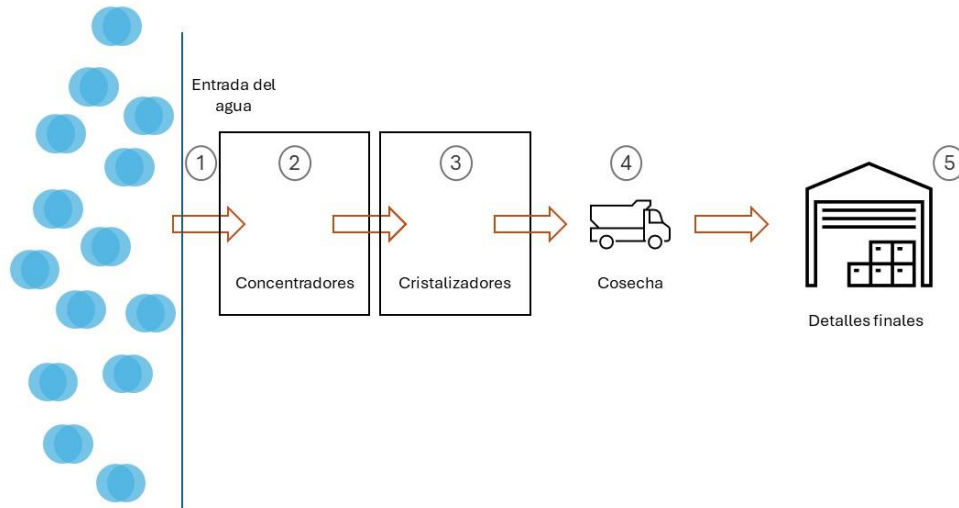


Figura 4: Esquema simplificado del funcionamiento de una salina [Elaboración Propia]

1. Entrada del agua de mar: generalmente el agua es bombeada desde el mar. En algunos lugares como en Australia, basta con la acción de la gravedad junto con las mareas. Varios millones de metros cúbicos de agua de mar son necesarios para producir cientos de miles de toneladas de sal. Esta proporción puede variar en función de la ubicación ya que no todos los mares tienen la misma salinidad [3].
2. Concentración del agua de mar: El agua fluye entre balsas poco profundas hasta que se ha evaporado alrededor del 90% del volumen inicial. Este movimiento se facilita a través de corredores que conectan las balsas, utilizando bombas o aprovechando la gravedad para el desplazamiento del agua [3].
3. Deposición del cloruro de sodio en cristalizadores: Cuando la salmuera se acerca al punto de saturación de NaCl, se transfiere a cristalizadores, balsas especialmente diseñadas para la cristalización de la sal. La tasa de evaporación de la salmuera es generalmente más baja que la del agua de mar debido a su

mayor salinidad. La salmuera tiene una mayor concentración de sólidos disueltos, lo que disminuye la presión de vapor y, por lo tanto, la tasa de evaporación, por lo tanto, el tiempo que pasa la salmuera en los cristalizadores suele ser mayor al que pasan en los concentradores [27]. Estas balsas requieren una preparación meticulosa, que incluye la compactación y nivelación del suelo para facilitar la separación de la sal y garantizar una capa uniforme de salmuera. Inicialmente, las balsas se llenan con salmuera de temporadas anteriores con baja concentración de magnesio; luego, esta salmuera se expulsa para dar paso a la nueva. A partir de este punto, el proceso implica monitorear la concentración y pureza de la sal, con un enfoque especial en controlar la concentración de sales secundarias, especialmente la de magnesio. Los cristales de NaCl comienzan a formarse cuando la densidad relativa de la salmuera alcanza los 1.125 g/l en este momento la salmuera alta en magnesio es removida para evitar la aparición de sales de magnesio [3].

4. Cosecha de sal: Comienza tras producirse y en intervalos que optimicen su recogida. Al principio se pasa una lija para levantar los cristales y, después, se recoge con un tractor o manualmente [3].

5. Detalles finales: Tras el proceso, la sal es transportada a almacenes donde es lavada con salmuera a contracorriente en un tornillo para quitar impurezas sólidas al mismo tiempo que los sabores amargos procedentes del magnesio y potasio. Después se centrifuga la sal separando lo sólido del líquido, aislando la sal de posibles contaminantes. Con un sistema de lecho fluido se seca la sal, agitando el producto hacia arriba y hacia abajo para lograr un secado uniforme. Tras esto, para separar la sal en función del tamaño se realiza la molienda o cribado mediante un rodillo. Por último, se le echan los aditivos necesarios a la sal, estos pueden ser yodo, flúor y antiglomerantes y estabilizadores.

### Subproductos

Generalmente, los subproductos llamados “bittern”, por su sabor amargo, suelen ser desechados en el mar, pero cuando se encuentran en cantidades significativas, existe un mercado. En ciertas condiciones climáticas, este subproducto puede concentrarse en campos especializados para extraer compuestos como bromuro de magnesio, sulfato de magnesio e incluso cloruro de magnesio [3].

## **Capítulo 3. DEFINICIÓN DEL TRABAJO**

### **3.1 JUSTIFICACIÓN**

Desde las primeras comunidades, el hombre ha conferido un valor significativo a la sal. En la actualidad, resulta impensable concebir la vida sin este elemento, cuyo uso se incrementa constantemente en sus diversas aplicaciones. La exploración de la industria salinera a través de un enfoque de ecoauditoría posibilitará el análisis del impacto medioambiental asociado, así como la búsqueda de mejoras. En la actualidad, la preocupación por la contaminación es de suma importancia, y cualquier investigación al respecto representa no solo un avance en el sector, sino también una contribución a la sociedad y la naturaleza presente y futura.

En España y Portugal, gracias a su geografía y ubicación, esta industria no solo tiene un considerable impacto económico, sino también un relevante alcance social, con un alto potencial para ser aún más referente a nivel mundial. Tanto la economía de estos países como numerosos ciudadanos que trabajan en la industria salinera se beneficiarán de iniciativas centradas en su desarrollo.

Por ello este proyecto es realmente valioso y relevante. Gracias a las aproximaciones objetivas obtenidas, será posible detectar áreas de mejora que beneficiarán no solo a la industria salinera, sino que también podrán aplicarse a otros similares. Así mismo, se podrá comparar en términos de consumo y contaminación la industria en cuestión con otras. Además, indirectamente, la población se verá beneficiada con el progreso medioambiental.



### **3.2 OBJETIVOS**

Los objetivos que se pretender lograr en este proyecto son los siguientes:

1. Estudio y comprensión de la importancia de la sal, así como del funcionamiento de la industria salinera: La sal es de suma importancia directa o indirectamente en la vida cotidiana y es necesario poner en contexto su situación. Así mismo se intentará mostrar detalladamente como es la industria de esta.
2. Analizar la regulación actual: Se tratará de entender las leyes y regulaciones que afectan a la industria, y cómo estas determinan los límites de su actividad.
3. Análisis de sostenibilidad de la industria salinera: Mediante un ACV con la herramienta de ecoauditoría.
4. Análisis de la contaminación de la sal: Se tomará como indicador los microplásticos y con la ayuda del trabajo “Análisis de Microplásticos en Salinas Españolas” de Carlos Sánchez Mata, se estudiará en qué fases del proceso aparecen estos contaminantes.
5. Demostrar la importancia medioambiental de la industria: Se destacarán los ecosistemas únicos y llenos de biodiversidad que surgen como resultado de la práctica de la industria.
6. Propuesta de mejoras

### **3.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

Los Objetivos del Desarrollo Sostenible, ODS, son un conjunto de 17 objetivos que establecen las pautas que la sociedad debe cumplir para acabar con la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Es un plan cuyos objetivos se esperan cumplir para 2030. Este apartado analiza el alineamiento de este TFG con estos objetivos definidos por la ONU (Organización de las Naciones Unidas).

**Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible.** Como es bien sabido, la sal es un alimento básico para todo el mundo y por ello consumido en grandes cantidades, así como para la conservación de alimentos, por lo que es de suma importancia que este esté en buenas condiciones. La presencia de contaminante como los microplásticos es común y por lo tanto y problema que ha de solucionarse identificando en que parte del proceso aparece y su procedencia. Los microplásticos pueden causar problemas de salud por su toxicidad.

**Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.** El agua desempeña un papel fundamental en el proceso de obtención de sal. Por lo tanto, al igual que en el punto anterior, es crucial evaluar la contaminación del agua, comprender cómo ocurre y trabajar para lograr la máxima pureza del recurso hídrico. De esta manera, no solo se beneficiará a la industria en cuestión, sino también a la sociedad en su totalidad.

**Objetivo 9: Conseguir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación.** Como se ha comentado anteriormente, para conseguir los objetivos del proyecto, es preciso mejorar y desarrollar tecnologías involucradas en la industria. Esta innovación debe ser planteada durante todo el ciclo de vida del producto logrando así un mayor alcance de los beneficios obtenidos.

**Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción. No todo es mejorar el proceso y estudios técnicos.** La educación y la promoción de un consumo responsable son aspectos cruciales. La alarmante cantidad de plásticos consumidos es bien conocida, y es imperativo reducir la dependencia de este material perjudicial. Abordar este problema desde la educación en sostenibilidad se presenta como una estrategia fundamental para fomentar cambios positivos en los hábitos de consumo.

**Objetivo 13: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad.** Las salinas son causantes de ecosistemas únicos e imposibles sin la presencia

de estas. Es por ello que es primordial cuidar estos espacios. Se analizará el impacto de la contaminación por microplásticos en las salinas.

**Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos.** Nuevamente, la implementación de tecnologías en las salinas puede contribuir a la reducción del número de microplásticos u otros vertidos como consecuencia de la actividad industrial. Además, mediante la aplicación de estas tecnologías y el desarrollo de otras innovadoras, es posible trabajar hacia la disminución de la presencia de microplásticos en los océanos. Dado que gran parte de estos microplásticos llegan a los océanos debido a imperfecciones en el diseño de diversas industrias, abordar estos aspectos desde una perspectiva tecnológica puede ser clave para mitigar este problema ambiental el cual se encuentra en un estado avanzado de peligro tanto para la salud como para la conservación del medio ambiente.

### **3.4 METODOLOGÍA**

La metodología que se utilizó en este trabajo comenzó con el estudio del estado del arte. Primeramente, se aclaró la situación que enfrenta esta industria desde una perspectiva legal y social. Se siguió con un análisis exhaustivo de los estudios y trabajos relacionados hasta la fecha, y posteriormente se abarcó el funcionamiento detallado de las salinas y sus diversos tipos.

Posteriormente, se realizó una búsqueda extensa y detallada de los datos necesarios para ejecutar la ecoauditoría. Con los datos recibidos, se realizó la ecoauditoría siguiendo los procedimientos establecidos.

El siguiente paso fue complementar en Análisis de Ciclo de Vida analizando la contaminación presente en la sal durante el proceso de producción, para lo cual se estudió el tomando como indicador a los microplásticos.

Además, se identificaron los beneficios asociados con las salinas.

### 3.4.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

EL Análisis de Ciclo de Vida lo define la Norma ISO 14040 de la siguiente manera: “técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto” [10].

La Figura 4 representa un esquema típico de un Análisis de Ciclo de Vida.



*Figura 5: Esquema Análisis Ciclo de Vida [Construcción21]*

Siguiendo la norma UNE EN ISO 14040, un Análisis Ciclo de Vida debe realizarse siguiendo estas cuatro fases:

1. Definición del objetivo y alcance
2. Inventario de Ciclo de Vida, abarca los datos de entrada y/o salida del sistema

3. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida: considera que mejoras medioambientales pueden ser aplicadas
4. Interpretación de los resultados

Se pretende destacar la importancia y beneficios de estos procesos tanto ecológica como socialmente ya que como se demostrará es una industria altamente sostenible. Además de buscar formas de mejora en cuanto a sostenibilidad y contaminación.

### **3.4.2 ECOAUDITORÍA**

La ecoauditoría viene definida en el Reglamento Europeo de junio de 1993 como un “instrumento de gestión que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la eficacia de la organización, el sistema de gestión y los procedimientos destinados a la protección del medio. Los objetivos de esta serían los siguientes: 1) Facilitar el control de las practicas que pueden tener efecto sobre el medio ambiente, 2) evaluar su adecuación a las políticas medioambientales de la empresa” [9].

De una manera más simple y comprensible: “Una ecoauditoría es una evaluación inicial rápida de la demanda energética y las emisiones de carbono durante la vida útil de un producto. Identifica la fase de la vida -material, fabricación, transporte, uso, eliminación- que conlleva la mayor demanda de energía o crea la mayor carga de CO<sub>2</sub>” [11].

En la Figura 5 se puede ver un esquema común de la herramienta de Ecoauditoría.

## Eco-audits and eco-audit tools

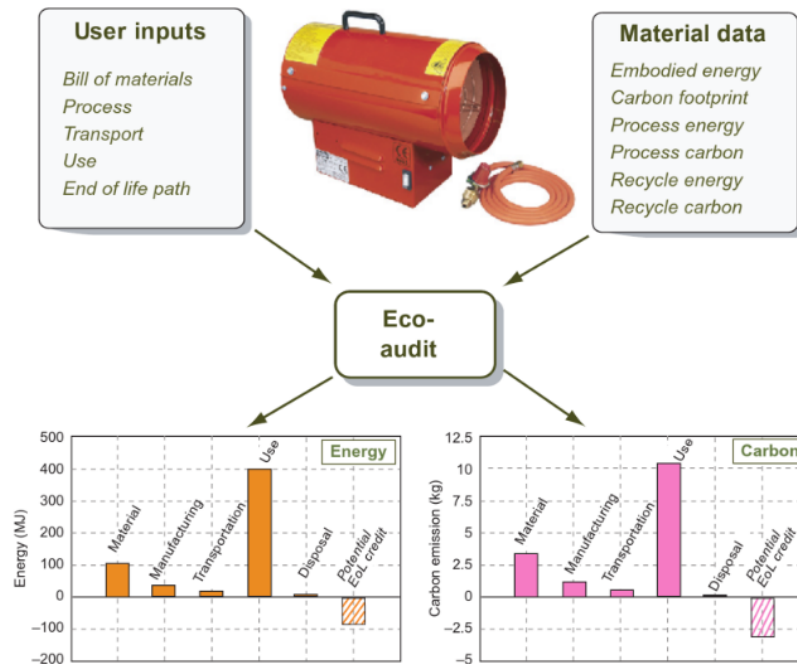


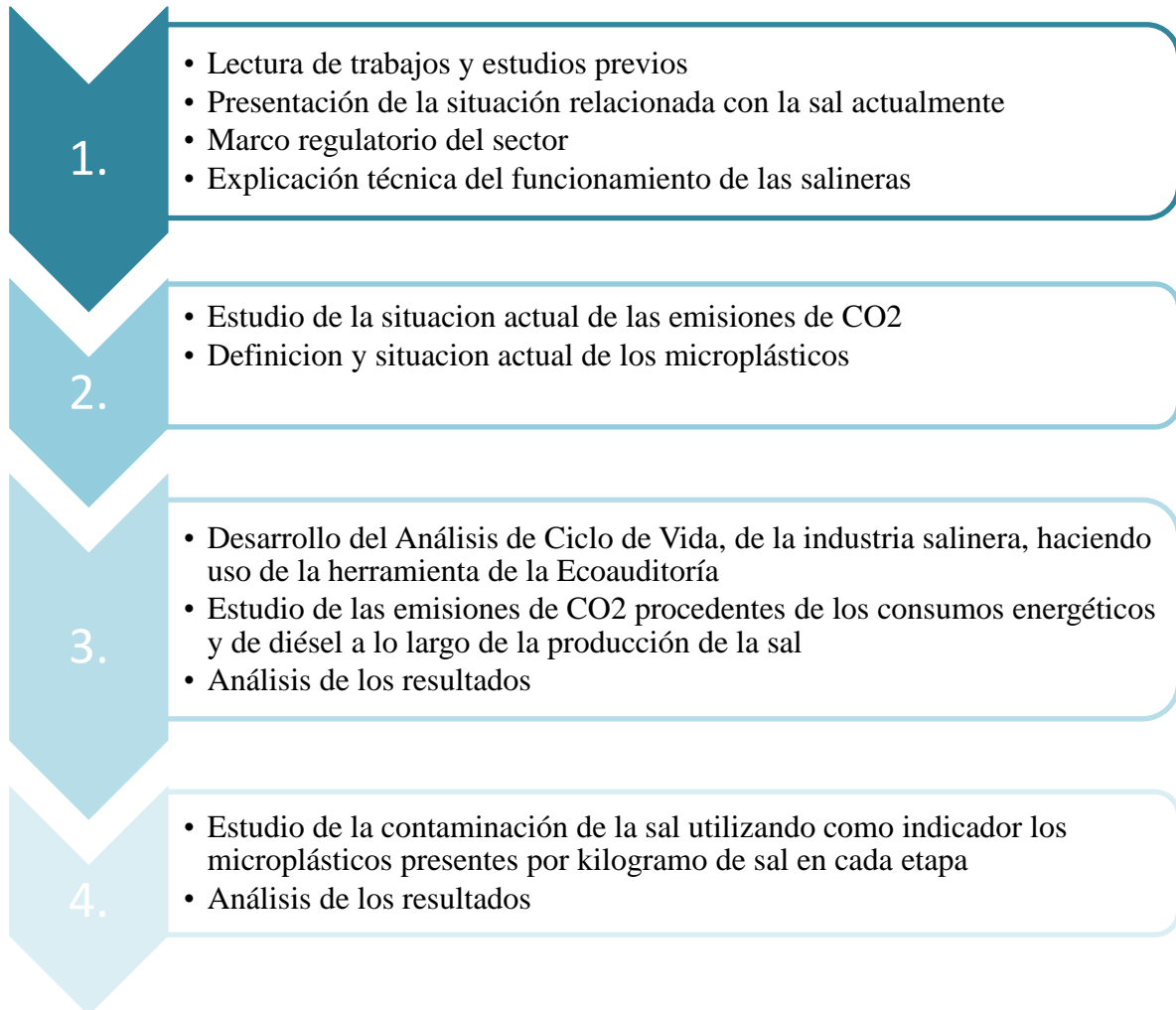
Figura 6: Esquema Ecoauditoría [Materials and the Enviroment:Eco-informed Material Choice]

La manera en la que se estructurará la ecoauditoría es la siguiente:

1. Producción del Material. En este paso se estudia la energía para extraer recursos y refinarlos o sintetizarlos en existencias de materiales utilizables
2. Fabricación del Producto. Se entiende como la energía para dar forma, unir y acabar materiales para fabricar un producto
3. Transporte. La energía utilizada para transportar materiales y productos desde su origen hasta el punto de venta
4. Uso. Energía consumida durante el uso del producto
5. Eliminación del Producto. Energía durante la eliminación de este, hay cinco formas de deshacerse de un producto, se verá más adelante

### 3.5 PLANIFICACIÓN

La ejecución del trabajo se llevará acabo siguiendo los pasos mostrados:



## **Capítulo 4. EMISIONES CO<sub>2</sub>**

El dióxido de carbono es un compuesto de carbono y oxígeno, en condiciones de temperatura y presión estándar se encuentra en estado gaseoso. Juega un rol fundamental para permitir la vida en la Tierra, ya que es el compuesto que necesitan las plantas para realizar la fotosíntesis y así generar oxígeno. Sin embargo, desde la Revolución Industrial en la segunda mitad del siglo XVIII, las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación entre otros procesos industriales han provocado que la concentración de este gas en la atmosfera se dispare. Este aumento ha exacerbado el efecto invernadero contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático.

Es sabido que las consecuencias del efecto invernadero son cuanto menos dañinas que van desde olas de calor, inundaciones hasta aumentos en la intensidad de huracanes. Esto supone una gran problemática a gran cantidad de ecosistemas naturales y la biodiversidad en ellos, en muchos casos si no se pone freno a la situación las consecuencias pueden ser irreversibles. Además, las repercusiones económicas son significativas, ya que los desastres naturales relacionados con el clima causan pérdidas millonarias cada año [49].

Las emisiones de CO<sub>2</sub> representan aproximadamente el 76% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, por lo que su control es crucial para mitigar los impactos del cambio climático [50]. En 2022, se alcanzó un récord histórico de emisiones globales de CO<sub>2</sub> superando las 36,8 gigatoneladas [51]. Durante años se está viendo una tendencia ascendente de las emisiones lo que subraya la urgencia de adoptar medidas efectivas para reducir las emisiones y así limitar el aumento de la temperatura global a únicamente 1.5°C por encima de los niveles preindustriales, tal como se establece en el Acuerdo de París [52].



Aunque si es verdad que la industria salinera, como se verá más adelante representa unas emisiones despreciables en comparación con otras, cualquier aportación y medida con el objetivo de reducir los gramos de CO<sub>2</sub> en la atmosfera es beneficiosa para todos.

#### 4.1 ESTADÍSTICAS GLOBALES

La evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo de los años muestra una tendencia preocupante. Desde 1960, las emisiones globales han aumentado más del doble, pasando de aproximadamente 15 GtCO<sub>2</sub> a las actuales 36.8 GtCO<sub>2</sub> [50]. Este aumento ha sido impulsado por el crecimiento económico y la industrialización, especialmente en países en desarrollo y emergentes. En la Figura 7 se puede apreciar esta subida de emisiones que, aunque la tendencia siga siendo ascendente, únicamente disminuyó en 2020 a causa del COVID-19 y la cuarentena que se extendió por todo el mundo, el ritmo ha bajado.

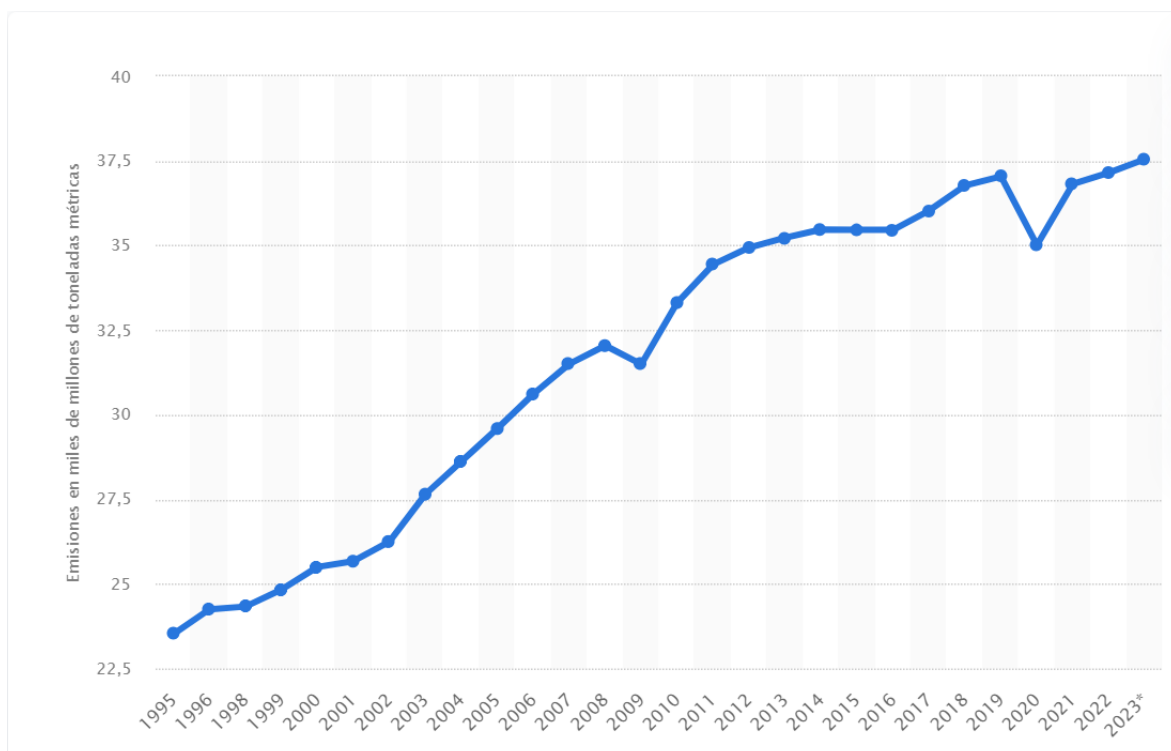


Figura 7: Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> de 1995 a 2023 [Statista]

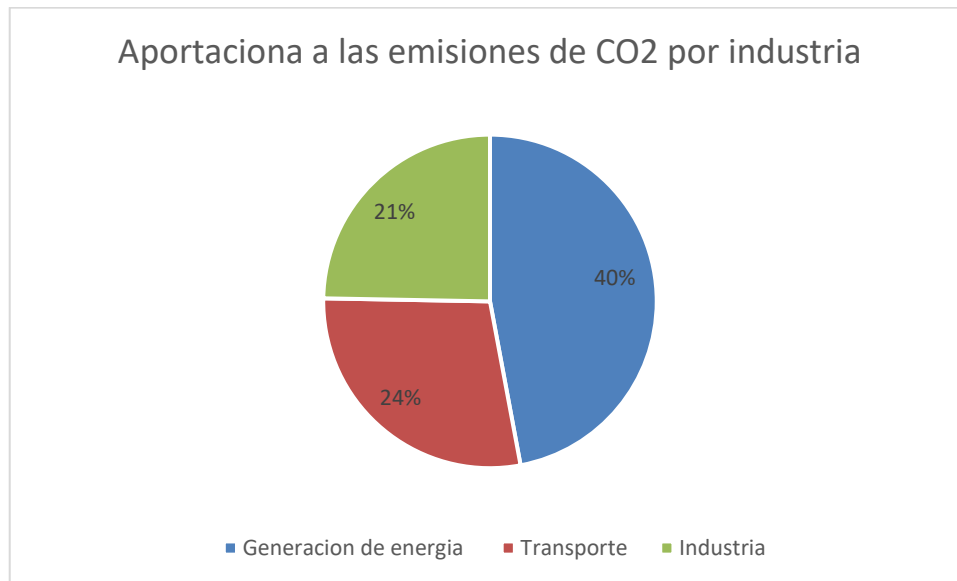
Sin embargo, si se habla de que país aporta más en términos absolutos a la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera solo hay 5 emisores principales que juntos representan el 60% de las emisiones globales [50].

País	Emisiones en 2022 (Gt CO <sub>2</sub> )	% del Total Global
China	11,4	31%
Estados Unidos	5,1	14%
India	2,6	7%
Unión Europea	2,4	6%
Rusia	1,8	5%

*Tabla 1: % de emisiones de CO<sub>2</sub> por país sobre el global*

Como se muestra en la Tabla 1, China, es el mayor emisor, en 2022 produjo alrededor del 31% de las emisiones globales, seguido por Estados Unidos con el 14% e India con el 7%.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de diversas fuentes, siendo las principales la generación de energía, transporte y la agricultura. Salvo la agricultura, que contribuye de manera indirecta a través de la deforestación y el uso de fertilizantes el resto si lo hace de forma directa representando el 85% de las emisiones como se muestra en la Figura 6.



*Figura 8: Aportación a las emisiones totales de CO2 por industria [Elaboración Propia]*

## **4.2 SITUACIÓN EN LA INDUSTRIA SALINERA**

La cuantificación exacta de las emisiones de CO2 en la industria salinera varía según el método de producción y la eficiencia de las operaciones. A su vez es difícil decir una cifra ante la falta de informes y estudios al respecto.

## **Capítulo 5. MICROPLÁSTICOS**

### ***5.1 INFORMACIÓN GENERAL MICROPLÁSTICOS***

Para un análisis de la contaminación en la industria de la sal se tomará como indicador la presencia de microplásticos en cada etapa de la cadena de valor de la sal. De esta forma, se podrá identificar en que punto del proceso de elaboración de la sal se intensifica la presencia de estos por kilogramo de sal y en cuales la cantidad es menor. Estas etapas serán idénticas a las del estudio de la ecoauditoría: producción, fabricación, transporte, uso y eliminación.

Se entiende como microplástico cualquier partícula sólida sintética o matriz polimérica, insoluble en el agua, de formas variables (regular o irregular), y que oscilan entre 1  $\mu\text{m}$  y 5mm de tamaño, de origen primario o secundario de fabricación [28]. Estos últimos son los más abundantes ya que representan entre el 69% y el 81% de los microplásticos en los océanos.

Todos ellos provienen de derivados del petróleo. Son difícilmente degradables y preceden de la actividad industrial y el consumo doméstico [29]. Los microplásticos primarios son aquellos que se vierten directamente a medio ambiente, es decir, llegan al medio natural en su forma original, en el mismo estado en el que se han sintetizado, un ejemplo son las partículas que están en los geles exfoliantes y las pastas de dientes. Mientras que los secundarios surgen de la degradación de diferentes residuos plásticos como pueden ser los neumáticos [30].

## **5.2 LA PROBLEMÁTICA DE LOS MICROPLÁSTICOS**

La contaminación marina es un problema medioambiental de primer orden, intensificado por la presencia de materiales como la madera, el vidrio y, mayoritariamente, el plástico. La ONU declaró en 2017 que había hasta 51.000 millones de partículas microplásticos en el mar, 500 veces más que el número de estrellas en la Vía Láctea [31]. Los plásticos representan entre el 60% y el 80% de los desechos marinos, destacándose por su resistencia a la degradación, la cual puede extenderse por más de un siglo [18]. Muchos de estas partículas son ingeridos por los peces que habitan esas zonas marinas o fluviales. En Perú la Universidad de Huánuco realizó un estudio del contenido estomacal de los peces amazónicos de consumo humano. Se encontraron 27 especies de peces con microplásticos en su interior [32]. Estos animales que luego son consumidos por los humanos actúan como portadores de microplásticos facilitando la llegada al interior del cuerpo humano.

La preocupación por la aparición de microplásticos en los organismos vivos está en aumento. Estudios recientes han detectado estas partículas en diversos tejidos humanos, como la piel. Se sabe que partículas menores de 10 micrómetros pueden acceder al sistema circulatorio y llegar a órganos como el hígado y el cerebro. Esta exposición podría ser tóxica, especialmente en el caso de los microplásticos secundarios que contienen aditivos peligrosos, potencialmente causando daño celular o alteraciones en el ADN y el metabolismo [21].

Además de todo esto, los microplásticos actúan como vehículos para transportar sustancias químicas, proteínas y toxinas peligrosas al interior del cuerpo humano [33]. Este fenómeno añade una capa adicional de riesgo, ya que estas partículas no solo son intrínsecamente dañinas, sino que también facilitan la entrada de otros contaminantes.

Ya se ha visto como de presente está la sal en el océano y los ríos del mundo por lo que no sorprende que estas partículas aparezcan en la sal. Estudios recientes, como el de Syafrizayanti y colaboradores, han confirmado la presencia de microplásticos en la sal de mesa y han estimado la exposición humana a estos contaminantes [19]. Además, Di Fiore et

al. destacan los retos en la cuantificación y muestreo de microplásticos en la sal marina comercial, encontrando una significativa cantidad de microplásticos pequeños en estos productos [20].

### **5.3 DÓNDE SE ENCUENTRAN**

Como se ha comentado antes, los microplásticos están presentes en muchos alimentos que se consumen y productos que son utilizados diariamente, ya sea por su fabricación o por contaminación. Un estudio muestra que el 23,3% de los peces en el Mediterráneo contienen microplásticos en sus tejidos, predominando las fibras plásticas [22]. Especies como las sardinas y las anchoas del Mar Adriático presentan tasas de contaminación del 90%, mientras que en el Golfo de Lyon solo el 12% y 11% respectivamente contienen microplásticos, indicando una distribución geográfica desigual.

Si bien los microplásticos se encuentran en cualquier tipo de geografía oceánica, desde áreas costeras hasta océanos abiertos y profundos. La distribución de los microplásticos en el océano no es homogénea, el 1% de los microplásticos en el océano se encuentran en la superficie marina, el 3% de estos se distribuyen a lo largo de la columna de agua mientras que el 96% en el fondo marino, habiéndose triplicado la cantidad de estos en los últimos 20 años [33].

En el Mediterráneo, el Nilo es una fuente principal de microplásticos siendo el causante del 6,8% de los microplásticos que llegan a este mar. Debido a la pesca intensiva y la migración de la población a las zonas costeras se espera un aumento de microplásticos en los próximos años [23].

La presencia del hombre en determinadas zonas provoca la aparición de microplásticos en ríos de agua dulce, como consecuencia de las industrias, el tratamiento de aguas y la agricultura entre otros [24].

Por otro lado, los efectos climatológicos como las lluvias y el viento juegan un papel crucial en la distribución de microplásticos. El aumento de precipitaciones eleva la cantidad de microplásticos en los océanos, que luego son transportados a la atmósfera por el viento. Se cree que el mayor problema con los microplásticos es su facilidad de propagación a través del aire [25]. A pesar de ello, la literatura sobre los microplásticos en el medio aéreo es ínfima en comparación con los estudios que analizan su presencia en medios terrestres y acuáticos.

A pesar de la gravedad del problema, hay pocos estudios que analicen su magnitud. Se han encontrado microplásticos incluso en el Monte Everest, principalmente fibras de ropa dejadas por alpinistas, lo que indica la dificultad de frenar esta contaminación [26]. Es más, la demanda global de plásticos sigue creciendo, impulsada por su bajo coste y versatilidad, superando los 245 millones de toneladas [53].

## **Capítulo 6. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

Lo ideal sería realizar el Análisis de Ciclo de Vida en un solo bloque y de manera conjunta. Sin embargo, debido a los requisitos de cálculo, en el caso de la Ecoauditoría se realiza etapa por etapa, mientras que para la contaminación de la sal se aborda como un único paso, se ha separado en dos apartados diferentes.

### **6.1 ECOAUDITORÍA**

Como se ha comentado previamente, el Análisis de Ciclo de Vida se realizará mediante la herramienta de Ecoauditoría que seguirá la siguiente estructura:

1. Análisis del escenario de partida
2. Definición del estudio
3. Cálculos
4. Análisis de resultados

#### **6.1.1 ANÁLISIS DEL ESCENARIO DE PARTIDA**

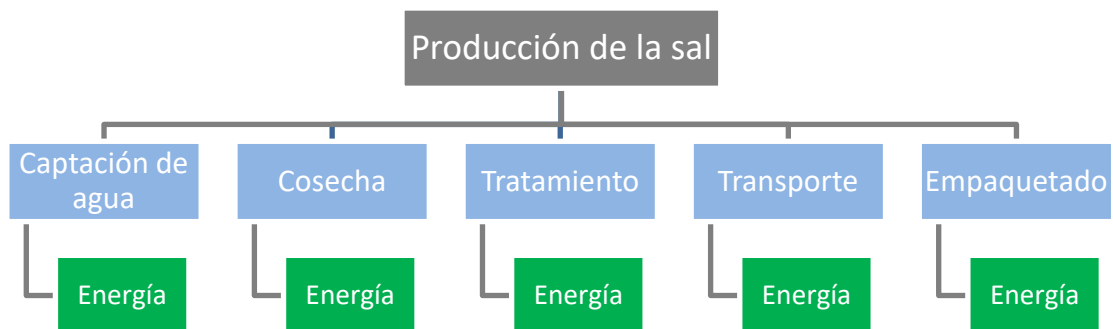
La sal está profundamente integrada en la vida cotidiana, por lo que cualquier cuestión relacionada con ella tiene un impacto significativo y un amplio alcance. Es por ello por lo que su industria, muy poco estudiada, y muchas veces ignorada es de gran relevancia.

Con este análisis de Ciclo de Vida se pretende hacer una evaluación del consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la producción, transporte uso y eliminación de la sal. Para ello se empleará la herramienta de la ecoauditoría.



Este análisis permitirá entender qué partes del proceso contribuyen más a estas emisiones y necesitan mejoras. Además, proporcionará un medio para comparar la sostenibilidad de la salinera con otras industrias en términos de contaminación y optimización de procesos. Para este objetivo se analizará fase por fase una salinera marina cuyo funcionamiento ha sido explicado previamente. Estas son las representadas en la figura.

En un primer lugar, se ha de diferenciar el origen de las entradas al sistema de estudio. En este caso todas son procedentes de la producción de la sal como se puede observar en la Figura 6.



*Figura 9: Datos de entrada al sistema de la producción de la sal [Elaboración propia]*

La audiencia final incluye a los propietarios de salineras, para que puedan implementar mejoras, así como a reguladores y al público interesado en las emisiones y la contaminación.

## 6.1.2 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO

Para continuar con el análisis, es necesario definir el caso específico con el que se trabajará. Para ello, se han realizado varias suposiciones y se ha llevado a cabo un extenso proceso de toma de decisiones.

Es necesario definir varios conceptos clave para el entendimiento y comprensión del estudio:

- **Unidad Funcional:** Un kilogramo de sal producida y entregada.
- **Materiales y Elementos Clave:** Salmuera, energía y la maquinaria utilizada en los procesos de evaporación, cristalización, cosecha, tratamientos, transporte y empaque.
- **Suposiciones:** Durante la fase de uso y eliminación, se supone que no hay emisiones significativas ya que la sal, al ser un mineral, no sufre transformaciones que liberen CO<sub>2</sub>.
- **Proceso de Producción:** Detallado en el diagrama proporcionado, desde el bombeo inicial de la salmuera hasta el transporte del producto terminado a los puntos de venta.

La salinera con la que se va a trabajar es una salina marina del atlántico con un proceso de producción industrial con procesos convencionales. Tiene una extensión de 1.500 hectáreas con una producción anual de media de 140.000 toneladas.

Recoge agua de mar gracias a las mareas y la acción de la gravedad, una vez el agua ha entrado en el sistema mediante compuertas y bombas eléctricas esta se distribuye en varios concentradores y reposa durante un determinado periodo de tiempo hasta que la salmuera alcanza una salinidad de 300 g/l. Posteriormente es trasladada a los cristalizadores donde, gracias al viento y a la irradiación solar la sal, cristaliza y es recogida con un sistema

mecanizado de cintas. Después se apila en montones al sol para que se seque, luego es lavada para eliminar impurezas y se le añaden aditivos necesarios para su comercialización.

Teniendo en cuenta este proceso y las pautas que marca la herramienta de la ecoauditoría, el trabajo se dividirá en las siguientes etapas:

- **Producción del Material:** Se debe considerar la extracción de la salmuera
- **Fabricación del Producto:** Incluye los procesos de concentración, cristalización y recolección de la sal, así como el añadido de compuestos.
- **Transporte:** Evalúa las emisiones derivadas del traslado del producto final a los puntos de venta.
- **Uso del Producto:** Puede tener un impacto mínimo o nulo ya que la sal es consumida o devuelta al ambiente en su estado natural.
- **Eliminación del Producto:** Generalmente no aplicable a la sal, pero se considera el manejo de los desechos del proceso productivo.

A continuación, se explicará con más detalle cada una de estas secciones para luego realizar los cálculos necesarios directamente. Toda la información ha sido proporcionada por el departamento de medio ambiente de una empresa líder del sector.

El proceso es estacional y se desarrolla de finales de abril o principios de mayo hasta octubre. Durante estos meses, la actividad es significativamente alta, mientras que el resto del año la actividad disminuye considerablemente. Esta variación se debe a la fuerte dependencia de las condiciones climáticas, que influyen directamente en su operatividad y eficiencia.

El proceso comienza con la entrada del agua de mar al sistema, esta ingresa gracias a las mareas y luego es movida en el sistema mediante un sistema de bombas y compuertas. La

salinidad del agua en esa zona del atlántico es 35g/l y por norma general la sal cristaliza aproximadamente a 300 g/l. La altura que debe superar el agua son 2m.

Posteriormente, la salmuera incrementa su concentración de sal gracias a la acción del viento y el sol en balsas poco profundas. Primero, esto ocurre en los concentradores y luego en los cristalizadores, donde finalmente se cosecha la sal. Durante todo este proceso tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> como el consumo energético es nulo por lo que no será necesario realizar ningún cálculo.

Una vez que la sal ha cristalizado, comienza su cosecha. En esta salina, se ha implementado recientemente un novedoso sistema para llevar a cabo esta tarea. El sistema consiste en una cinta mecanizada equipada con un rastrillo que levanta la sal y la transporta hasta un punto donde con ayuda de camiones es recogida y transportada al centro de lavado. La cinta opera durante 45-50 días al año, 20 horas al día, y tiene una potencia de 150 KVA. Los camiones, por su parte, consumen 33 litros por cada 100 km y cada viaje es de aproximadamente 8 km. Tienen una capacidad de 25 toneladas y operan con la misma frecuencia que la cinta, la producción anual, como se ha presentado previamente es de 140.000 toneladas lo que significa que será necesario realizar 5.600 viajes.

A partir de este punto, y dependiendo del uso final que se le quiera dar a la sal, se llevan a cabo dos procesos distintos. Si la sal se destina a la industria química (40%), primero se somete a un proceso de lavado. La máquina encargada del tiene una capacidad de 60 toneladas por hora y la potencia es de 3kW.

Por otro lado, si la sal se destina a la industria alimenticia, el 60% restante, se somete a una serie de procesos adicionales. Estos incluyen centrifugado, secado, molienda y cribado al igual que aditivos como el iodo y flúor. Este sistema opera durante todo el año, 365 días, funcionando 16 horas al día con una potencia de 4 kW. Cada uno de estos procesos está diseñado para garantizar que la sal cumpla con los estándares específicos requeridos para su uso en alimentos, asegurando su pureza y adecuación para el consumo humano.

Posteriormente, la sal es transportada desde la salina hasta los centros de empaquetamiento y comercialización. Estas funciones no dependen directamente de la salinera, por lo que se realizarán varias suposiciones. El centro de empaquetamiento se encuentra aproximadamente a 10 km de la salina (AM), “comunicación personal”. Los camiones encargados de transportar la sal serán del mismo tipo que los utilizados en la propia salina.

En cuanto al empaquetamiento, se supondrá que hay dos tipos de bolsas: las de 1 kg, que representan el 30% de la producción, y las de 25 kg, que constituyen el 70% restante. La máquina de empaquetado de 1 kg empaqueta 40 bolsas por minuto y consume 3 kWh, mientras que la máquina de empaquetado de 25 kg empaqueta alrededor de 52 bolsas por minuto y consume 6 kWh. Se entiende que en este proceso se aseguran de que la sal esté adecuadamente empaquetada para su distribución y venta, cumpliendo con los requisitos específicos de cada tipo de cliente y mercado. Se ha supuesto que echar los aditivos necesarios no conlleva ningún consumo energético.

Finalmente, se entiende que el uso de la sal no genera emisiones ni consumos. Su eliminación tampoco.

Como se ha explicado con anterioridad, el proceso por el que pasa un kilo de sal desde que entra en la salinera hasta que llega al consumidor final está representado en la Figura 7.

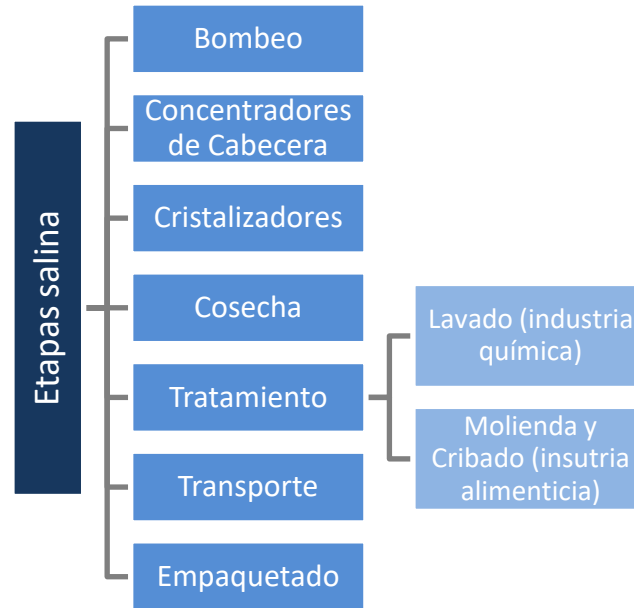


Figura 10: Esquema etapas salina [Elaboración propia]

Cabe señalar que, en España durante el año 2023, se produjeron en media 174,05 gramos de CO<sub>2</sub> por cada kilovatio-hora de electricidad generado [14]. La Figura 8 muestra el histórico del valor.

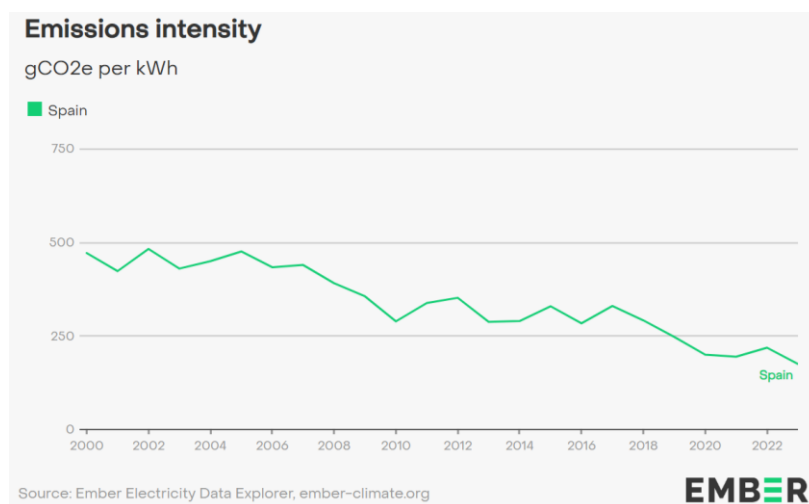


Figura 11: Emisiones gramos CO<sub>2</sub> por kWh [EMBER]

Por otro lado, se generan 10.180 gramos de emisiones de CO<sub>2</sub> por galón de diésel consumido [15]. Teniendo en cuenta que 1 galón americano corresponde a 3,78541 litros, realizando el factor de conversión correspondiente:

$$\frac{1.0180 \text{ gramos de } CO_2}{1 \text{ galón}} \times \frac{1 \text{ galón}}{3,78541 \text{ litros}} = 2.689 \frac{\text{gramos de } CO_2}{\text{litros}}$$

## 6.1.3 CÁLCULOS

### 6.1.3.1 Bombeo

Es necesario saber la cantidad de agua total necesaria para conseguir la producción anual lograda, 140.000 toneladas. La salinidad del agua en esa zona del atlántico es 35 g/l y por norma general la sal cristaliza aproximadamente a 300 g/l. Además, se asume que el volumen del agua se mantiene constante en todo el sistema. Por lo tanto, la cantidad de agua que se utiliza anualmente es:

$$\frac{140.000 * 10^6}{35} = 4.000.000.000 \text{ litros} \approx 4 * 10^9 \text{ litros} = 4 * 10^6 \text{ m}^3$$

El agua de mar no tiene la densidad del agua pura (1000 kg/m<sup>3</sup>) por lo que hay que hallarla. Para ello se calculará en función de la temperatura, presión y salinidad de esta. Una de las fórmulas más conocidas y utilizadas para este propósito es la ecuación de estado del agua de mar, TEOS-10 (Thermodynamic Equation of Seawater 2010), la cual reemplazó a la EOS-80 (Equation of State 1980).

La TEOS-10 proporciona una forma precisa de calcular la densidad del agua de mar (denominada densidad absoluta salina) a partir de la salinidad práctica, la temperatura conservativa y la presión absoluta. Sin embargo, esta ecuación es bastante compleja y generalmente se implementa a través de software o calculadoras especializadas en oceanografía, ya que involucra múltiples coeficientes y cálculos intermedios.

Una versión simplificada y más manejable, aunque menos precisa para cálculos generales y educativos, se basa en la aproximación lineal de la densidad del agua de mar ( $\rho$ ) en función de la salinidad ( $S$ , en partes por mil, ppt) y la temperatura ( $T$ , en grados Celsius), es la siguiente:

$$\rho = \rho_0 + k_S * S - k_T * (T - T_0)$$

Dónde:

- $\rho_0$  es la densidad del agua pura a una temperatura de referencia  $T_0$  (generalmente 4 °C, donde el agua pura alcanza su densidad máxima de aproximadamente 1000 kg/m<sup>3</sup>).
- $k_S$  es un coeficiente que representa el cambio en la densidad con la salinidad (aproximadamente 0,8 kg/m<sup>3</sup> por cada unidad de salinidad).
- $k_T$  es un coeficiente que representa el cambio en la densidad con la temperatura (aproximadamente 0,2 kg/m<sup>3</sup> por cada grado Celsius por encima o por debajo de  $T_0$ ).
- $S$  es la salinidad del agua de mar en partes por mil. En el caso del Atlántico es 35 g/l.
- $T$  es la temperatura del agua de mar en grados Celsius. En el caso de la zona del Atlántico es 18.4 °C en mayo, cuando se produce la recogida de agua.
- $T_0$  es la temperatura de referencia, 4 °C.

La densidad el agua de mar en el Atlántico entonces será:



$$\rho = 1000 + 0,8 * 35 - 0,2 * ( 18,4 - 4 ) = 1.025,12 \text{ kg/m}^3$$

Se asume que el volumen de agua del sistema se mantiene constante y que la sal cristaliza a una concentración de 300 g/l, la salinidad del agua es 35 g/l. Con esto, el trabajo empleado para subir 2 metros  $4 \times 10^9$  litros de agua es:

$$W = m * g * h = (1.025,12 * 4 * 10^6) * 9,81 * 2 = 80.451.417.600 \text{ J}$$

$$\frac{80.451.417.600 \text{ J}}{3,6 * 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kWh}}} = 22.347,62 \text{ kWh}$$

$$\frac{22.347,62 \text{ kWh}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{174,05 \text{ g } CO_2}{1 \text{ kWh}} = \frac{0,27 \text{ g } CO_2}{\text{kg de sal}}$$

### **6.1.3.2 Cosecha**

El trabajo empleado por la cinta mecánica es:

$$W = 150 \text{ kW} * 20 \text{ h} * 48 \text{ días} = 144.000 \text{ kWh}$$

Las emisiones generadas por kg de sal serán:

$$\frac{144.000 \text{ kWh}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{174,05 \text{ g CO}_2}{1 \text{ kWh}} = \frac{0,18 \text{ g CO}_2}{\text{kg de sal}}$$

En cuanto a los camiones, lo primero es calcular en número de viajes que realizan para así saber los kilómetros recorridos totales:

$$\text{Cantidad de viajes} = \frac{140.000 \text{ toneladas}}{25 \text{ toneladas}} = 5.600 \text{ viajes}$$

$$\text{Kilometros totales} = 5600 * 8\text{km} = 44.800 \text{ kilometros}$$

Con esto ya podemos hallar el consumo total y las emisiones:

$$\text{Consumo total} = 44.800 \text{ km} * 0,33 \text{ l/km} = 14.784 \text{ litros de diésel}$$

$$\frac{14.784 \text{ litros de diesel}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{2689 \text{ g CO}_2}{1 \text{ litro de diesel}} = \frac{0,28 \text{ g CO}_2}{\text{kg de sal}}$$

### **6.1.3.3 Lavado**

Únicamente la sal dedicada a la industria química es lavada, 40% del total. Según (AM), “comunicación personal”, en general, una planta de lavado y procesamiento de sal puede requiere una máquina de una potencia de 3 kW. En nuestro caso la máquina empleada tiene una capacidad de 60 toneladas por hora. Por lo tanto:

$$\text{Tiempo de trabajo} = \frac{140.000 * 0,4}{60} = 933 \text{ horas}$$

$$\text{Trabajo} = 3 \text{ kW} * 933 \text{ h} = 2.800 \text{ kWh}$$

$$\frac{2.800 \text{ kWh}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{174,05 \text{ g CO}_2}{1 \text{ kWh}} = \frac{0,003 \text{ g CO}_2}{\text{kg de sal}}$$

### **6.1.3.4 Molienda y Cribado**

La sal destinada a la industria alimentaria es sometida a este proceso, el trabajo empleado es el siguiente:

$$W = 4 \text{ kW} * 16 \text{ h} * 365 \text{ días} = 23.360 \text{ kWh}$$

$$\frac{23.360 \text{ kWh}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{174,05 \text{ g CO}_2}{1 \text{ kWh}} = \frac{0,03 \text{ g CO}_2}{\text{kg de sal}}$$

### **6.1.3.5 Transporte**

Toda la sal es llevada a este centro de empaquetamiento, por lo que como se ha calculado antes, 5600 viajes son necesarios.

$$\text{Kilometros Totales} = 5.600 * 10\text{km} = 56.000 \text{ km}$$

$$\text{Consumo Total} = 56.000\text{km} * 0,33 \text{ l/km} = 18.480 \text{ litros de diésel}$$

$$\frac{18.480 \text{ litros de diesel}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{2689 \text{ g CO}_2}{1 \text{ litro de diesel}} = \frac{0,35 \text{ g CO}_2}{\text{kg de sal}}$$

### **6.1.3.6 Empaquetado**

Consumo del empaquetamiento de las bolsas de 1 kg:

$$\text{Número de bolsas} = \frac{140.000.000 * 0,3 \text{ kg}}{1 \text{ kg/bolsa}} = 42.000.000 \text{ bolsas}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo en funcionamiento} &= \frac{42.000.000 \text{ bolsas}}{40 \text{ bolsas/min}} = 1.050.000 \text{ minutos} \\ &= 17.500 \text{ horas} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo energético} = 3 \text{ kW} * 17.500 \text{ h} = 52.500 \text{ kWh}$$

$$\frac{52.500 \text{ kWh}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{174,05 \text{ g CO}_2}{1 \text{ kWh}} = \frac{0,065 \text{ g CO}_2}{\text{kg de sal}}$$

Consumo del empaquetamiento de las bolsas de 25kg:

$$\text{Número de bolsas} = \frac{140.000.000 * 0,7 \text{ kg}}{25 \text{ kg/bolsa}} = 3.920.000 \text{ bolsas}$$

$$\text{Número de bolsas} = \frac{3.920.000 \text{ bolsas}}{52 \text{ bolsas/min}} = 75.385 \text{ minutos} = 1256 \text{ h}$$

$$\text{Consumo energético} = 6 \text{ kW} * 1256 \text{ h} = 7.536 \text{ kWh}$$

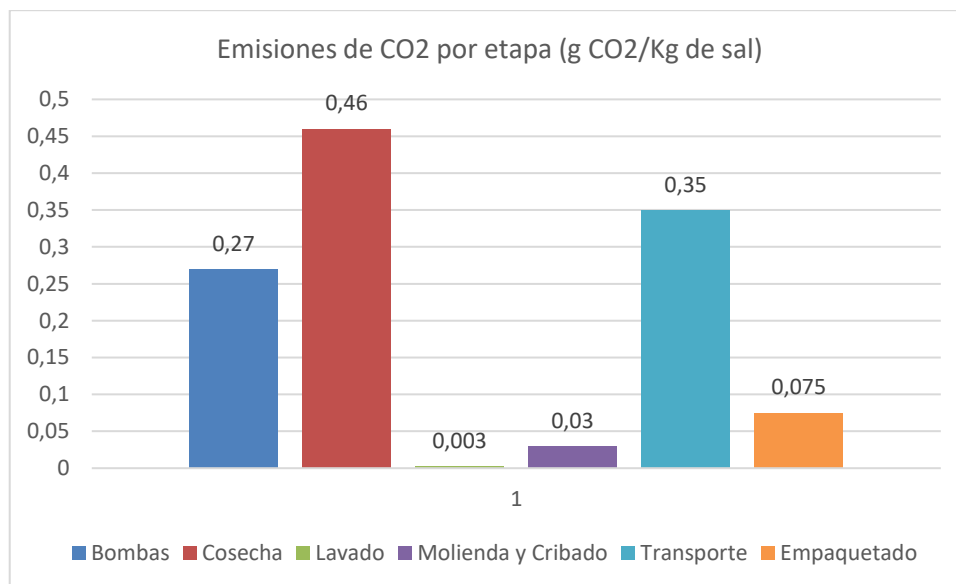
$$\frac{7.536 \text{ kWh}}{140.000.000 \text{ kg}} * \frac{174,05 \text{ g CO}_2}{1 \text{ kWh}} = \frac{0,01 \text{ g CO}_2}{\text{kg de sal}}$$

#### 6.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El propósito de este estudio era identificar las etapas del proceso en las que las emisiones de CO2 son significativas o experimentan un aumento considerable dentro del contexto de la

industria salinera, y, por ende, determinar la necesidad de buscar soluciones y optimizar estos procesos. Además, se buscaba demostrar que, en un contexto más amplio, la contaminación generada por esta actividad es considerablemente baja y menor en comparación con otras industrias.

A continuación, la Figura 10 presenta un gráfico con los gramos de CO<sub>2</sub> emitidos por kg de sal producidos por etapa.



*Figura 12: Emisiones de gramos de CO<sub>2</sub> por kg de sal en cada etapa [Elaboración propia]*

Como se puede observar la principal fuente de emisiones es el consumo de diésel, por ello la fase de la cosecha y el transporte resaltan por encima del resto. Esto ya se podía prever desde un principio cuando se expuso que por litro de diésel consumido se emitían de media aproximadamente 2700 gramos de CO<sub>2</sub> mientras que por kWh las emisiones eran de 170 gramos.

En cuanto al consumo eléctrico, la etapa de empaquetado es la más demandante del proceso y, consecuentemente, la que más emisiones genera, con 0.075 gramos de CO<sub>2</sub> por kilogramo de sal. Sin embargo, esta cantidad no es excesivamente superior a las de otras etapas; las bombas emiten 0.011 gramos de CO<sub>2</sub> por kilogramo de sal, mientras que la molienda y el cribado liberan 0.029 gramos de CO<sub>2</sub> por kilogramo de sal. Por otro lado, el lavado es la fase que menos recursos consume, emitiendo tan solo 0.003 gramos de CO<sub>2</sub> por kilogramo de sal.

Mientras elaboración del trabajo, se planteó la idea de realizar un estudio sobre la viabilidad de instalar paneles solares para reducir los costes asociados al consumo de energía y maximizar la sostenibilidad ambiental reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>, foco de este trabajo. No obstante, observando los resultados, se puede concluir que esta iniciativa carece de sentido. Las emisiones de gases contaminante procedentes del consumo energético son mínimas, lo cual hace que la inversión en la infraestructura necesaria para la implementación de paneles solares no se justifique bajo las circunstancias actuales.

Las emisiones derivadas del consumo de diésel representan el 68% de aquellas procedentes del uso de energía eléctrica. Por esta razón, es crucial que las medidas adoptadas se centren en la operación de los camiones, que son los principales consumidores de diésel. Estas medidas podrían incluir el reemplazo de los camiones actuales por modelos eléctricos, lo que reduciría las emisiones de diésel, aunque incrementaría el consumo energético en las etapas afectadas por el cambio. Otras alternativas son aumentar la capacidad de carga de los camiones para mejorar la eficiencia o, si fuera viable, acortar las rutas de transporte para disminuir la cantidad de diésel utilizado.

## **6.2 CONTAMINACIÓN DE LA SAL**

En esta parte del Análisis de Ciclo de Vida de la sal se estudiará la contaminación de esta en cada etapa por kilogramo con los microplásticos como indicador. Se seguirá la estructura típica del ACL:

1. Objetivo y alcance del estudio
2. Análisis de inventario
3. Análisis de impacto
4. Interpretación de resultados

### **6.2.1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO**

Como se ha mencionado, la problemática de los microplásticos en la sal es una realidad cada vez más peligrosa. La sal, un condimento muy presente en la vida diaria, puede ser nociva si está contaminada.

Por esta razón, es necesario llevar a cabo este ACV para determinar en qué fase, desde el inicio del proceso de producción hasta su venta, la sal se contamina. Posteriormente, se analizarán los resultados para extraer conclusiones y posibles soluciones.

La norma ISO 14040 dicta que se debe definir una unidad funcional como punto de referencia para el estudio completo. En este caso la unidad funcional será un kilogramo de sal. Esta unidad servirá para tener una misma base y poder hacer comparaciones y sacar conclusiones coherentes.

Los límites del análisis deben ser correctamente definidos si se quiere ser precisos y ahondar en el problema. El único foco en el que se centrará este ACV es el impacto medioambiental.



El alcance del estudio pasará por las mismas etapas estudiadas en la ecoauditoría hasta su venta. Estas son:

1. Boca de entrada a la salina (mar o estuario) / manantial (salmuera).
2. Entrada a concentradores (salmuera).
3. Entrada a cristalizadores (salmuera).
4. Salida de cristalizadores (aguas madre).
5. Sal cristalizada en los cristalizadores (sal gruesa y flor de sal\*).
6. Sal lavada (cuando sea el caso) (sal gruesa).
7. Sal apilada durante al menos 6 meses (cuando sea el caso) (sal gruesa).
8. Sal envasada durante la cosecha (sal gruesa y flor de sal\*).
9. Sal envasada más de 6 meses (sal gruesa y flor de sal\*).

No se considerarán el transporte, uso y eliminación de la sal, ya que carece de sentido en este contexto. Durante el transporte, la sal ya está empaquetada y, por lo tanto, no está expuesta a microplásticos adicionales. Los microplásticos presentes durante su uso y eliminación dependen de otros factores fuera del alcance de este estudio.

## 6.2.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO E IMPACTO

En el proyecto desarrollado por Carlos, las muestras fueron tomadas en tarros de vidrio llamados duquesas, se utiliza este instrumento de vidrio para que la muestra de agua tomada no se contamine. El volumen de estos es de 250 mL. En el estudio, se trabajó con el número de microplásticos en este volumen, sin embargo, para este caso interesa trabajar con la cantidad de microplásticos por unidad funcional, un kg de sal.

En el estudio se recolectaron muestras de ocho salinas diferentes. Sin embargo, debido a la similitud con nuestra salina estudiada en la ecoauditoría y a la abundancia de información disponible, solo se tendrán en cuenta las muestras de la salina A.

Las muestras tomadas de la salina A son las mostradas en la Figura 11:

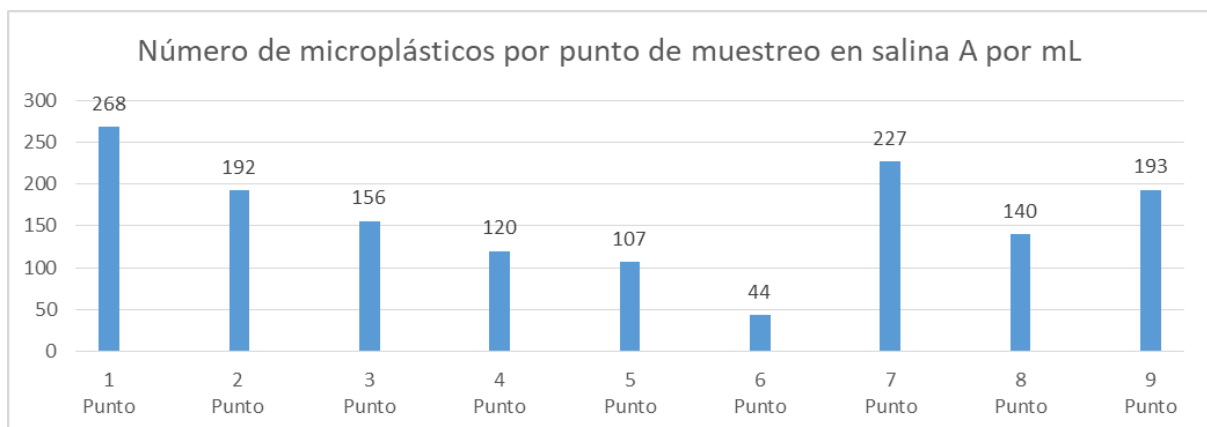


Figura 13: Microplásticos por punto de muestreo en la salina referencia por L [Elaboración propia]

Estas cifras no sirven para este estudio, ya que la unidad funcional es diferente. Para el objetivo que se busca la unidad funcional es un kilogramo de sal.

En las dos primeras etapas, a la entrada de la salina y la entrada a los concentradores la salinidad de las muestras es de 35g/l. En los concentradores y a su salida, la concentración aumenta aproximadamente hasta los 300 g/l. El resto de las muestras son sólidas y en cada

muestra se recogen un volumen de 250ml de sal. Por lo tanto, conociendo el volumen que ocupa la sal y su densidad, 2170 kg/m<sup>3</sup>, se puede obtener la masa total de la muestra.

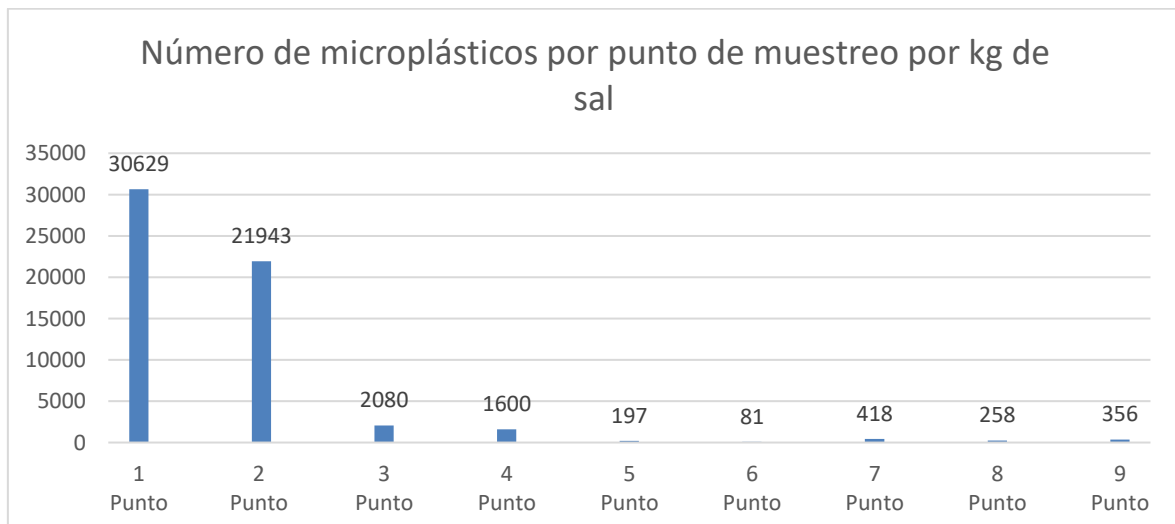
A continuación, se muestran los cálculos realizados para conseguir la masa de sal por muestra:

$$\text{Gramos de sal en los puntos 1 y 2} = 0,25 \text{ l} * 35 \text{ g/l} = 8,75 \text{ g}$$

$$\text{Gramos de sal en los puntos 3 y 4} = 0,25 \text{ l} * 300 \text{ g/l} = 75 \text{ g}$$

$$\text{Gramos de sal en los puntos 5 – 9} = 0,25 * 10^{-3} \text{ m}^3 * 2170 * 10^3 \text{ g/m}^3 = 542,5 \text{ g}$$

Ahora sabiendo los gramos de sal por etapa, realizando una regla de 3 se pueden obtener los microplásticos por kilogramo de sal en cada fase del proceso. Los resultados obtenidos se representan en la Figura 12.



*Figura 14: Número de Microplásticos por punto de muestreo por kg de sal [Elaboración propia]*

### **6.2.3 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

En un primer momento, los resultados destacan por las grandes diferencias de magnitud entre las distintas etapas. Sin embargo, estas diferencias tienen una explicación clara y evidente. En todas las etapas, la muestra se obtiene utilizando envases llamados "duquesas" de 250 mL de volumen. En las primeras cuatro etapas, las muestras son de salmuera, la cual tiene una salinidad de 35 g/L en los dos primeros puntos de muestra y de 300 g/L en los dos siguientes. Por otro lado, las muestras de las etapas 5 a 9 son sólidas, es decir, únicamente sal. Esto explica la diferencia en la cantidad de microplásticos por kilogramo de sal entre unas etapas y otras. Los mayores saltos se ven entre el punto de muestreo 2, entrada a los concentradores y 3, muestra tomada en el propio concentrador. El otro gran salto ocurre entre las etapas 4 y 5, entre la salida del cristalizador y la sal cristalizada en los cristalizadores, ya sólida.

Cuando la sal ingresa al sistema, presenta una cantidad considerable de microplásticos por kilogramo. A medida que la sal avanza por el sistema, esta cantidad disminuye significativamente. Esta reducción en la proporción de microplásticos por kilogramo de sal se debe al aumento en la cantidad de sal en relación con el volumen de la muestra además de la propia pérdida de microplásticos por la deposición de estos en el fondo de las balsas a medida que el agua se evapora y la sal avanza.

Con diferencia, donde menos hay menor presencia de microplásticos es en la etapa 6, la sal lavada, sin embargo, hay que destacar que estos no desaparecen indicando la dificultad y la problemática que presenta la contaminación de la sal. Tras esta limpieza de la sal, los microplásticos vuelven a ganar terreno en el punto de muestreo 7, sal acumulada a la intemperie durante 6 meses, siendo la etapa más contaminada por kilogramo de sal en las muestras sólidas esto quiere decir que los microplásticos contaminan la sal no solo en el agua sino también a través del aire alcanzando estas montañas de sal.



*Ilustración 2: Sal acumulada para su secado en las Salinas de San Pedro del Pinatar  
[NoticieroMarMenor.com]*

Sin embargo, en la sal que se empaqueta durante la cosecha también aparece una cantidad considerable de microplásticos por kilogramo de sal, esto puede deberse a la contaminación procedente de los envases de empaquetado o a las máquinas encargadas de esta función.

Las soluciones para contrarrestar esta contaminación tienen que empezar con la descontaminación de los mares y océanos. Esto es posible si se reduce la fabricación de plásticos que para ello la demanda, a su vez, debería bajar. Por otro lado, igual de importante es una buena gestión de los residuos plásticos para en el mejor de los casos reciclarlo o en su defecto deshacerse de ellos de la forma más sostenible posible, en ningún contexto tirarlos fuera de un contenedor es la solución ya que es posible que eventualmente termine en el mar o contaminando otros ecosistemas naturales.

No obstante, como se ha observado la mayoría de los microplásticos presentes en la sal que se consume proceden de la contaminación por aire. Entonces, lo óptimo sería proteger a la sal de este tipo de contaminación, para ello cubrir la sal en con una lona o meterla en almacenes durante su secado evitaría este suceso.

## **Capítulo 7. IMPORTANCIA MEDIOAMBIENTAL DE LA INDUSTRIA SALINERA**

Más allá de su importancia económica y utilitaria, esta industria tiene un impacto significativo en el medio ambiente, con efectos positivos que a menudo son subestimados. La salina, un ecosistema artificial creado por el hombre, se ha integrado de manera armoniosa en el entorno natural, ofreciendo una serie de beneficios ecológicos que son cruciales para la conservación de la biodiversidad y la estabilidad ambiental.

### ***7.1 BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES***

Uno de los beneficios más destacados de las salinas es su capacidad para convertirse en refugios de biodiversidad. Las salinas proporcionan hábitats vitales para una variedad de especies de aves, muchas de las cuales son migratorias y dependen de estos ambientes salinos para descansar y alimentarse durante sus largos viajes. Por ejemplo, especies como el flamenco rosado y diversas aves limícolas encuentran en las salinas un lugar seguro para anidar y criar a sus polluelos [39]. Además, las salinas albergan una flora única adaptada a las condiciones salinas, contribuyendo así a la diversidad genética y ecológica de la región [40]. Las investigaciones recientes también resaltan que las salinas juegan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad en áreas costeras, proporcionando un hábitat para especies que de otro modo estarían en peligro debido a la urbanización y la destrucción de hábitats naturales [41].



*Ilustración 3: Flamencos en las Salinas del Cabo de Gata [Telecinco.es]*

Las salinas también desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático. Estos ecosistemas pueden actuar como sumideros de carbono, ayudando a capturar y almacenar dióxido de carbono de la atmósfera [42]. Los procesos biológicos que ocurren en las salinas, como la fotosíntesis de las plantas halófitas y la actividad microbiana, contribuyen a este almacenamiento de carbono [43]. De esta manera, las salinas no solo ayudan a reducir los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico, sino que también promueven la salud del suelo y del agua en su entorno. En este trabajo este suceso no se ha tenido en cuenta a la hora de los cálculos, pero gran parte del CO<sub>2</sub> emitido es contrarrestado de forma natural.

Otro beneficio ambiental significativo de las salinas es su capacidad para proteger las costas contra la erosión. Las estructuras físicas de las salinas, compuestas por diques y estanques, actúan como barreras naturales que amortiguan el impacto de las olas y las marejadas [44]. Esto es especialmente importante en regiones costeras vulnerables, donde la erosión puede causar pérdidas de terreno y daños a infraestructuras. Al estabilizar las costas, las salinas



contribuyen a la resiliencia de las comunidades costeras frente a eventos climáticos extremos [45].

## ***7.2 OPORTUNIDADES DE CONSERVACIÓN Y DESARROLLO SOSTENIBLE***

Las salinas también ofrecen oportunidades significativas para la conservación y el desarrollo sostenible a través del ecoturismo. Muchas salinas han sido transformadas en destinos de ecoturismo, atrayendo a visitantes interesados en la observación de aves, la fotografía de paisajes y la experiencia educativa. Este tipo de turismo proporciona ingresos económicos adicionales que pueden ser reinvertidos en la conservación y mantenimiento de las salinas, creando un ciclo positivo de desarrollo sostenible [46]. Las investigaciones recientes han demostrado que el ecoturismo en salinas no solo beneficia a las economías locales, sino que también aumenta la conciencia y la educación ambiental entre los visitantes [47].

Los proyectos de restauración ecológica en salinas abandonadas han mostrado resultados prometedores en términos de recuperación de la biodiversidad y mejora del paisaje. Iniciativas de colaboración entre la industria salinera y organizaciones de conservación han logrado restaurar hábitats críticos, beneficiando tanto a las especies locales como a las comunidades humanas que dependen de estos recursos. [48].

Estos proyectos no solo restauran el equilibrio ecológico, sino que también proporcionan beneficios socioeconómicos, como la creación de empleos y la mejora de la calidad de vida para los habitantes y los turistas de la zona.

## **Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Este capítulo tratará de unificar todas las conclusiones obtenidas a lo largo de todo el trabajo con el fin de tener una imagen y comprensión completa. Además, se indicarán posibles trabajos futuros para ampliar el alcance de este trabajo y así lograr un mayor conocimiento en la materia.

Este trabajo ha consistido en realizar un Análisis de Ciclo de Vida de la sal. Este análisis ha tenido dos dimensiones: por un lado, el cálculo de los gramos de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera etapa por etapa en el proceso de producción de sal; por otro lado, el estudio de la contaminación de la sal en cada fase, empleando los microplásticos como indicador.

### **8.1 CONCLUSIONES**

Siguiendo el orden del trabajo, la primera conclusión que se observa es que las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentan año tras año. Aunque este incremento ha disminuido gracias a las medidas implementadas y a la creciente concienciación de la población en este ámbito. Parte de esta concienciación ha surgido tras desastres naturales con efectos catastróficos derivados del cambio climático. Como se ha visto previamente, el 60% de las emisiones totales proceden de 5 regiones y países muy concretos por lo que el foco de las medidas y regulaciones deberían centrarse ahí.

En cuanto a los microplásticos, se ha visto lo presentes que están por todo el mundo, encontrándose desde el fondo del mar hasta el Everest. Esta dispersión se debe a su diminuto tamaño, que dificulta su detección y eliminación, pero que su vez facilita su transporte por el viento, permitiéndoles alcanzar incluso los lugares más remotos. Tanto es así que se han

encontrado microplásticos en el interior de peces que son potencialmente alimento para las personas con las consecuencias que conlleva.

Los resultados de la ecoauditoría han sido contundentes: el principal generador de emisiones de CO<sub>2</sub> es el consumo de diésel. Eliminar su uso podría reducir las emisiones en un 68%. Medidas para lograr esto incluirían cambiar la flota de camiones por vehículos eléctricos, eliminar el uso de camiones y realizar las tareas de forma manual, reducir rutas o aumentar la carga de los camiones.

En cuanto a los microplásticos, en el análisis de la cantidad de ellos hay por kilogramo de se obtienen resultados que hay que analizar con detalle. En las etapas en las que la muestra es líquida, se recoge salmuera, la concentración de microplásticos por kilogramo de sal es significativamente mayor que en las etapas sólidas. Se observa una disminución en la cantidad de microplásticos a medida que la sal avanza a través del sistema, probablemente se vayan depositando en el fondo de las balsas, y alcanza su punto mínimo durante el lavado, aunque no desaparecen por completo, lo que indica la dificultad de su eliminación total.

La cantidad de microplásticos aumenta considerablemente nuevamente cuando la sal se seca al aire libre en montañas de sal, sugiriendo que los microplásticos son transportados por el aire. Esto señala que los microplásticos presentes en el producto final provienen del aire y no del mar. Por lo tanto, las medidas preventivas deben centrarse en esta etapa específica del proceso.

Finalmente, se ha expuesto las numerosas ventajas y beneficios que aportan estos ecosistemas tan especiales y únicos. Estas ventajas incluyen la conservación de la biodiversidad, combatir el cambio climático y el turismo sostenible.

## **8.2 TRABAJOS FUTUROS**

Los mejores trabajos futuros son aquellos que permitan optimizar aquellas actividades que han de mejorar, las cuales se han detectado en este trabajo.

Posibles trabajos son: eliminar el diésel de la producción de sal, montar un sistema para proteger la sal de los microplásticos que llegan por el aire y calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> compensadas por la flora de la salina.

## Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ciudad, J. F. L., Sanz, M. A., & Cánovas, S. V. (2017). La sal de España durante el Medievo y la Edad Moderna. *De re metallica (Madrid): revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, 28, 47-62.
- [2] VALERO, F. G., & DEL TRABAJO, D. (s. f.). *EL SALARIO: LA NÓMINA*. Recuperado 5 de febrero de 2024, de [https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero\\_23/FAUSTINA\\_GALBIS\\_VALERO01.pdf](https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_23/FAUSTINA_GALBIS_VALERO01.pdf)
- [3] Westphal, G., Kristen, G., Wegener, W., Ambatiello, P., Geyer, H., Epron, B., Bonal, C., Steinhäuser, G., & Götzfried, F. (2010). Sodium Chloride. En Wiley-VCH (Ed.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (1.<sup>a</sup> ed.). Wiley. [https://doi.org/10.1002/14356007.a24\\_317.pub4](https://doi.org/10.1002/14356007.a24_317.pub4)
- [4] Trio Maseda, M. (2022). Panorama Minero 2018-20. Recuperado de Instituto Geológico y minero de España: <https://www.igme.es/PanoramaMinero/PMLin.htm>
- [5] Observatory of Economic Complexity (2021). Sal. Recuperado de Observatory of Economic Complexity: <https://oec.world/es/profile/hs/salt>

- [6] Fontalva, J. M. G., Calvache, M. L., & Duque, C. (2010). Origen de la salinidad de las aguas subterráneas del sistema acuífero costero de Torrevieja: Aspectos Hidroquímicos. *Geogaceta*, 48, 127-130.
- [7] Hueso Kortekaas, C., & Carrasco Vayá, J.-F. (2006). *Las salinas de interior, un patrimonio desconocido y amenazado*.  
<https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/71331>
- [8] *Sánchez Mata, C. (2023). Análisis de microplásticos en salinas españolas.*
- [9] *III Jornadas de Educación Ambiental*. (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2024, de <https://www.miteco.gob.es/ca/ceneam/recursos/documentos/ecoauditorias.html>
- [10] *ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental—Análisis del ciclo de vida—Principios y marco de referencia*. (s. f.). Recuperado 7 de febrero de 2024, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- [11] Ashby, M. F. (2012). *Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice*. Elsevier.

- [12] *Halcón, C. G., Kortekaas, K. H., & Castro, M. C. (s. f.). ESTUDIO DE VIABILIDAD DE PRODUCCIÓN ANUAL DE SALINA EN MARISMA CON ENERGÍAS RENOVABLES.*
- [13] Calvo Rebollar, M. (2017). El mineral de los 14.000 usos. La utilización de la sal a lo largo de la historia. *De re metallica ( Madrid ): revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*, 28 (Enero-Junio), 5-24.
- [14] United Nations. (s/f). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, Estocolmo 1972 | Naciones Unidas*. Recuperado el 19 de febrero de 2024, de <https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972>
- [15] Metwally, H. I., Salman, S. A., & Ashraf, M. (2021). *A review on extraction processes of salts from different salt lakes and their environmental impact in industry.*
- <https://www.academia.edu/download/90118085/22846808114.40164039.pdf>
- [16] Susano, C. L., & Gonçalves, M. M. (2020). Salt: The white gold of algarve. *REHABEND2020 8th Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management*, 306-313.
- <https://www.researchgate.net/profile/Marta-Goncalves->

9/publication/344407437\_SALT\_THE\_WHITE\_GOLD\_OF\_ALGARVE/links/5f722316458515b7cf56350a/SALT-THE-WHITE-GOLD-OF-ALGARVE.pdf

- [17] (S. f.). Ember-climate.org. Recuperado 10 de abril de 2024, de <https://ember-climate.org/countries-and-regions/regions/europe/>
- [18] Us Epa, O. (2019). *Calculadora de equivalencias de gases de efecto invernadero - Cálculos y referencias.* <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/calculadora-de-equivalencias-de-gases-de-efecto-invernadero-calculos>
- [19] Pamies, D. (2022, diciembre 13). *Torre Vieja exportará 240.000 toneladas de sal a Europa para combatir los temporales de nieve.* Información. <https://www.informacion.es/vega-baja/2022/12/13/torre-veja-exportara-240-000-toneladas-79921230.html>
- [20] Celdrán Bernabéu, M. A., & Azorín Molina, C. (2004). La explotación industrial de las salinas de Torre Vieja (Alicante). *Investigaciones geográficas, n° 35, 2004; pp. 105-132.* <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/284>
- [21] Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific reports, 7(1), 8620.*



- [22] Syamsu, D. A., Deswati, D., Syafrizayanti, S., Putra, A., & Suteja, Y. (2024). Presence of microplastics contamination in table salt and estimated exposure in humans. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 10(1), 205-224.
- [23] Grillo, G., Falvo, S., Latino, D., Baccari, G. C., Venditti, M., Di Fiore, M. M., Minucci, S., & Santillo, A. (2024). Polystyrene microplastics impair the functions of cultured mouse Leydig (TM3) and Sertoli (TM4) cells by inducing mitochondrial-endoplasmic reticulum damage. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 274, 116202.
- [24] Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). Microplastics and human health. *Science*, 371(6530), 672-674. <https://doi.org/10.1126/science.abe5041>
- [25] Bajt, O. (2021). From plastics to microplastics and organisms. *FEBS Open Bio*, 11(4), 954-966. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13120>
- [26] Khan, F. R., Shashoua, Y., Crawford, A., Drury, A., Sheppard, K., Stewart, K., & Sculthorp, T. (2020). ‘The Plastic Nile’: First Evidence of Microplastic Contamination in Fish from the Nile River (Cairo, Egypt). *Toxics*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/toxics8020022>

- [27] Kumar, A., Upadhyay, P., & Prajapati, S. K. (2023). Impact of microplastics on riverine greenhouse gas emissions: A view point. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(49), 107300-107303.
- [28] Sridhar, A., Kannan, D., Kapoor, A., & Prabhakar, S. (2022). Extraction and detection methods of microplastics in food and marine systems: A critical review. *Chemosphere*, 286, 131653.
- [29] *Microplastics are showing up in places as remote as Mount Everest | Science News*. (2020, noviembre 20). <https://www.sciencenews.org/article/plastics-remote-places-microplastics-earth-mount-everest>
- [30] Rodríguez, F. A., Santiago, D. E., Franquiz Suárez, N., Ortega Méndez, J. A., & Veza, J. M. (2012). Comparison of evaporation rates for seawater and brine from reverse osmosis in traditional salt works: Empirical correlations. *Water Supply*, 12(2), 234-240. <https://doi.org/10.2166/ws.2012.133>
- [31] Orellana Ulloa, V. P. (2023). Relación entre la distancia de centros urbanos y la cantidad de micro plásticos provenientes de los cuerpos de abejas (*Apis mellifera*) de las colmenas de apicultores de la zona periurbanas del cantón Gualaceo [masterThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25225>

- [32] *Microplásticos: Causas, efectos y soluciones*. (2018, noviembre 22). Temas | Parlamento Europeo.  
<https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20181116STO19217/microplasticos-causas-efectos-y-soluciones>
- [33] *Qué son los MICROPLÁSTICOS: Definición y tipos - ¡Resumen!* (s. f.). [ecologiaverde.com](https://www.ecologiaverde.com). Recuperado 14 de julio de 2024, de <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-microplasticos-definicion-y-tipos-1543.html>
- [34] Ramírez, J. E. S. (2018). Plásticos y microplásticos en agua, un problema mundial que afecta nuestros sistemas acuáticos. *Ingeniería y Región*, 19.
- [35] Lino Tolentino, L. J. (2022). *Microplástico en el agua y sedimentos de los ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla en la ciudad de Aucayacu*. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2180/TS\\_LJLT\\_2022.pdf?sequence=1](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/2180/TS_LJLT_2022.pdf?sequence=1)
- [36] *Microplastics deposited on the seafloor triple in 20 years*. (s. f.). ScienceDaily. Recuperado 10 de julio de 2024, de <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/12/221222101005.htm>

- [37] *Sal: Principales países productores 2023*. (s. f.). Statista. Recuperado 14 de julio de 2024, de <https://es.statista.com/estadisticas/600883/paises-lideres-en-la-produccion-de-sal-a-nivel-mundial/>
- [38] Sainz-López, N., Boski, T., & Sampath, D. M. R. (2019). Fleur de sel composition and production: Analysis and numerical sim
- [39] Olea, P. P., Mateo-Tomás, P., & Sánchez-Zapata, J. A. (Eds.). (2019). *Carrion Ecology and Management* (Vol. 2). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16501-7>
- [40] Velasquez, C. R. (1992). Managing artificial saltpans as a waterbird habitat: Species' responses to water level manipulation. *Colonial Waterbirds*, 43-55.
- [41] Brodie, J. F., Mohd-Azlan, J., Chen, C., Wearn, O. R., Deith, M. C., Ball, J. G., Slade, E. M., Burslem, D. F., Teoh, S. W., & Williams, P. J. (2023). Landscape-scale benefits of protected areas for tropical biodiversity. *Nature*, 620(7975), 807-812.
- [42] Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., & Marbà, N. (2013). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature climate change*, 3(11), 961-968

- [43] Macreadie, P. I., Anton, A., Raven, J. A., Beaumont, N., Connolly, R. M., Friess, D. A., Kelleway, J. J., Kennedy, H., Kuwae, T., & Lavery, P. S. (2019). The future of Blue Carbon science. *Nature communications*, 10(1), 1-13.
- [44] SH, I. (s. f.). *LIVING SHORELINES*. Recuperado 16 de julio de 2024, de <https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9781315151465&type=googlepdf>
- [45] Costanza, R., Pérez-Maqueo, O., Martinez, M. L., Sutton, P., Anderson, S. J., & Mulder, K. (2008). The value of coastal wetlands for hurricane protection. *Ambio*, 241-248.
- [46] Buckley, R. (2010). *Conservation tourism*. CABI. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Ug5QW-ecwRIC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Buckley,+R.+\(2010\).+Conservation+tourism.+SALT&ots=jE1\\_6grVoR&sig=6uR6lGht\\_w8iij8G7ZhrBckqYCM](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Ug5QW-ecwRIC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Buckley,+R.+(2010).+Conservation+tourism.+SALT&ots=jE1_6grVoR&sig=6uR6lGht_w8iij8G7ZhrBckqYCM)
- [47] World Economic Forum. (2023). The benefits of boosting biodiversity conservation in Latin America and the Caribbean. [World Economic Forum](#).
- [48] Gil, J. M. V. (s. f.). II. IV. Iniciativas ciudadanas para la recuperación y conservación de las salinas del Rasall. *Custodia del territorio en explotaciones salineras*, 67.

- [49] Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University press.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2HC\\_AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT11&dq=Stern,+N.+\(2006\).+The+Economics+of+Climate+Change:+The+Stern+Review.+Cambridge+University+Press.&ots=WrlbCKzpO\\_&sig=odKYmUzTgMaPi9arZuYao7bAO0U](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2HC_AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT11&dq=Stern,+N.+(2006).+The+Economics+of+Climate+Change:+The+Stern+Review.+Cambridge+University+Press.&ots=WrlbCKzpO_&sig=odKYmUzTgMaPi9arZuYao7bAO0U)
- [50] *CO2 Emissions in 2023 – Analysis—IEA*. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2024, de <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>
- [51] *Global Carbon Budget 2022. Global Carbon Project. Enlace al informe*. - Buscar con Google. (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2024, de [https://www.google.com/search?q=+Global+Carbon+Budget+2022.+Global+Carbon+Project.+Enlace+al+informe.&sca\\_esv=d9b3b500f3bb4a30&rlz=1C1CHZN\\_enES1114ES1114&sxsrf=ADLYWII-4i212yziBOEhKUsUuISJoS0zww%3A1721239568764&ei=EAiYZpmoLpWNxc8PotOd2AE&ved=0ahUKEwiZ8MaI1a6HAXWVRvEDHaJpBxsQ4dUDCA8&uact=5&oq=+Global+Carbon+Budget+2022.+Global+Carbon+Project.+Enlace+al+informe.&gs\\_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiRSBhbG9iYWwgQ2FyYm9uIEE1ZGdldCAyMDIyLiBHbG9iYWwgQ2FyYm9uIFByb2plY3QuIEVubGFjZSBhbCBpbmZvc](https://www.google.com/search?q=+Global+Carbon+Budget+2022.+Global+Carbon+Project.+Enlace+al+informe.&sca_esv=d9b3b500f3bb4a30&rlz=1C1CHZN_enES1114ES1114&sxsrf=ADLYWII-4i212yziBOEhKUsUuISJoS0zww%3A1721239568764&ei=EAiYZpmoLpWNxc8PotOd2AE&ved=0ahUKEwiZ8MaI1a6HAXWVRvEDHaJpBxsQ4dUDCA8&uact=5&oq=+Global+Carbon+Budget+2022.+Global+Carbon+Project.+Enlace+al+informe.&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcnAiRSBhbG9iYWwgQ2FyYm9uIEE1ZGdldCAyMDIyLiBHbG9iYWwgQ2FyYm9uIFByb2plY3QuIEVubGFjZSBhbCBpbmZvc)



H4AQKYAgGgAg2oAhCYAw26BgYIARABGAG6BgYIAhABGAuSBwExoAc

A&scient=gws-wiz-serp

- [53] Lolaruiz. (2023, octubre 19). *Plastics Europe publica “Plastics – the fast Facts 2023”*. Plastics Europe ES. <https://plasticseurope.org/es/plastics-europe-publica-plastics-the-fast-facts-2023/>