

*ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE  
TELECOMUNICACION. SANTANDER*

# **PLÁSTICOS DE UN SOLO USO VS PLÁSTICOS RETORNABLES: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL PESCADO EN ESPAÑA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER (TFM)

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA QUIMICA POR LA UNIVERSIDAD  
DE CANTABRIA Y LA UNIVERSIDAD DELPAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO  
UNIBERTSITATEA

**Alumno:** Pablo González García

**Fecha:** 12/09/2023

**Firma:**

**Director**

María Margallo Blanco

Jara Laso Cortabitarte

**Curso Académico**

2022-2023

## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	EL SECTOR PESQUERO EN ESPAÑA.....	1
1.2	IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD PESQUERA EN GALICIA.....	3
1.3	ACTIVIDAD EN LAS LONJAS DE GALICIA.....	5
1.4	EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS.....	7
1.5	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	9
1.6	CONSERVACIÓN DE LOS PRODUCTOS PESQUEROS.....	10
1.7	ENVASES PLÁSTICOS UTILIZADOS EN BARCOS, PUERTOS Y LONJAS.....	11
1.7.1	Polietileno de alta densidad (HDPE).....	11
1.7.2	Polipropileno (PP).....	12
1.7.3	Poliestireno expandido (EPS).....	12
1.8	INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	14
1.9	ANTECEDENTES.....	15
1.10	OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	17
2.	METODOLOGÍA.....	18
2.1	DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE.....	18
2.1.1	Unidad funcional.....	18
2.1.2	Descripción del sistema.....	19
2.1.2.1	Producción.....	20
2.1.2.2	Distribución y uso.....	21
2.1.2.3	Fin de vida.....	23
2.1.3	Hipótesis y asignaciones de estudio.....	23
2.1.4	Análisis de sensibilidad.....	24
2.2	ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA.....	24
2.3	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA.....	26
3.	RESULTADOS.....	28
3.1	CASO BASE DE ESTUDIO.....	28
3.1.1	Distribución local.....	29
3.1.2	Distribución regional.....	30
3.1.3	Distribución nacional.....	31
3.2	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON EL LUGAR DE LAVADO.....	32
3.2.1	Lavado 100% fábrica.....	33
3.2.2	Lavado 100% puerto.....	34
3.3	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON LA DISTANCIA DE REPARTO.....	34

3.4	MEJOR OPCIÓN PARA CADA CASO DE ESTUDIO .....	36
4.	CONCLUSIONES.....	38
5.	DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	39
6.	BIBLIOGRAFIA.....	40
7.	ANEXO.....	43

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pescado capturado y valor económico en España (MAPA, 2021) .....	1
Figura 2. Reparto del consumo de productos de la pesca y la acuicultura (ANFACO, 2021) .....	2
Figura 3. Número de embarcaciones registradas en Galicia entre 2004 y 2022 (IGE, 2023) .....	3
Figura 4. Principales especies capturadas en Galicia (Consejería del Mar, 2023).....	4
Figura 5. Cantidades de especies subastadas y valor económico obtenido en lonjas en toda Galicia (IGE, 2023) .....	5
Figura 6. Ubicación de las lonjas más importantes de Galicia (A Coruña, Ribeira y Vigo)	6
Figura 7. Evolución de producción de plástico desde 1950 a 2020 (Statista, 2020) .....	7
Figura 8. Distribución de la producción de plásticos en el mundo (Plastics Europe, 2020). .....	8
Figura 9. Distribución de la demanda de los transformadores de plásticos en Europa por segmento en 2019 (Plastics Europe, 2020). .....	8
Figura 10. Etapas del Análisis de Ciclo de Vida (ISO, 2006) .....	14
Figura 11. Esquema explicativo de la unidad funcional.....	19
Figura 12. Diferenciación del ciclo de vida de las cajas EPS y HDPE, la línea discontinua separa los elementos y procesos que están incluidos en el estudio de los que están excluidos .....	20
Figura 13. Ruta nacional Puerto de Vigo - Mercamadrid .....	21
Figura 14. Ruta regional Puerto de Vigo-Mercado municipal de Pontevedra - Mercado de Abastos de Santiago de Compostela .....	22
Figura 15. Ruta local Puerto de Vigo-Mercado municipal de Pontevedra - Mercado de abastos de Santiago de Compostela.....	22
Figura 16. Indicador de Cambio climático para los diferentes escenarios de distribución	28
Figura 17. Indicadores para distribución local.....	30
Figura 18. Indicadores para distribución regional .....	31
Figura 19. Indicadores para distribución nacional.....	32
Figura 20. Indicador de Cambio Climático para lavado 100% fábrica .....	33
Figura 21. Indicador de Cambio Climático para lavado 100% puerto .....	34
Figura 22. Comparativa del CC con la distancia de ida de los repartos caso 100% lavado en puerto .....	35
Figura 23. Comparativa del CC con la distancia de ida de los repartos a) caso base b) caso 100% lavado en fábrica.....	36

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Datos del sector pesquero en el año 2016 en Galicia (Ardán, 2016).....	5
Tabla 2. Comparativa de las características de las cajas HDPE, PP y EPS .....	13
Tabla 3. Artículos científicos sobre comparativas ambientales entre cajas y su ciclo de vida .....	16
Tabla 4. Características de las cajas de EPS y HDPE.....	18
Tabla 5. Inventario de una caja EPS .....	25
Tabla 6. Inventario de una caja HDPE .....	26
Tabla 7. Resumen del análisis de sensibilidad y las mejores opciones correspondientes en cada caso.....	37
Tabla A1. Impactos del caso base en la distribución local.....	43
Tabla A2. Impactos del caso base en la distribución regional .....	44
Tabla A3. Impactos del caso base en la distribución nacional.....	45

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA QUIMICA  
POR LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA Y LA UNIVERSIDAD DEL PAÍS  
VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA**

**RESUMEN DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER**

<b>TÍTULO</b>	<b>PLÁSTICOS DE UN SOLO USO VS PLÁSTICOS RETORNABLES: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL PESCADO EN ESPAÑA</b>		
<b>AUTOR</b>	<b>Pablo González García</b>		
<b>DIRECTOR/CODIRECTOR</b>	María Margallo / Jara Laso	<b>FECHA</b>	12/09/2023

### **PALABRAS CLAVE**

Análisis de Ciclo de Vida (ACV), poliestireno expandido (EPS), polietileno de alta densidad (HDPE), Cambio Climático (CC), distribución

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La actividad pesquera y transformadora en Galicia es muy significativa, por sí sola concentra más del 10% de las descargas de pescado fresco de la Unión Europea, aporta el 20% de la producción acuícola y es la primera región europea y la segunda mundial en la producción de conservas de pescado y marisco (Xunta de Galicia, 2019). Estas cantidades de pescado son trasladadas desde barcos hacia la lonja, industria o mercados para su venta, por lo que es necesario un envase que conserve sus características y propiedades durante todo el trayecto. La actual Directiva (UE) 2019/904 indica la prohibición de los envases alimentarios y de bebidas compuestos por poliestireno expandido (EPS) desde el 3 de julio de 2021, que es el principal componente de las cajas para el transporte de pescado. En España se aplica en la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, en la que se establece un impuesto a este plástico de 0,45 €/kg desde 2023. Se necesita por tanto una alternativa que sea reutilizable, como el polietileno de alta densidad (HDPE), siendo necesario no solo que cumpla con las condiciones higiénicas y de preservación, si no también evaluar su impacto ambiental. En este contexto, se ha llevado a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para comparar el impacto ambiental de las cajas de EPS y HDPE necesarias para el transporte de 1.260.000 toneladas de pescado. El sistema evaluado es el ciclo de vida completo de la caja, desde que las materias primas llegan a la fábrica, hasta que se reciclan para otros usos, de la cuna a la cuna. Los indicadores estudiados han sido Cambio Climático (CC), uso de recursos fósiles (RU), uso del agua (WU), eutrofización marina (EM), eutrofización de agua dulce (EF) y acidificación (AC), del método Environmental Footprint (EF) 3.0 y utilizando el software de ACV Simapro. Por último, se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar la influencia del lugar de lavado de las cajas de HDPE y la distancia de reparto de las rutas establecidas.

### **RESULTADOS**

Los resultados muestran que el principal problema ambiental se debe al transporte desde el puerto a los puntos de venta por las rutas locales, regionales y nacionales,

teniendo más del 50% de los impactos, incluso en el caso de ser un reparto local. Las cajas HDPE presentan mayor impacto ya que tienen un mayor peso, 1,2 kg para transportar 10 kg de pescado, frente a las cajas EPS que pesan 0,203 kg para transportar 6,4 kg de pescado. En segundo lugar, para las cajas HDPE, el lavado contribuye entre el 12% y el 30% dependiendo de la distancia de reparto, mientras que para las cajas EPS es la producción del envase (2% al 20%), ya que son de un solo uso, por el consumo de electricidad que se necesita en los procesos de extrusión. En un tercer lugar quedarían las distribuciones de las cajas de la fábrica al puerto y viceversa para cambiar cajas rotas, para limpiarlas o para sustituir las de EPS. El caso base de estudio establecía que un 20% de las cajas se lavaban en la fábrica, por lo que para optimizar el transporte se estudiaron los dos extremos, que todas las cajas se lavarían en fábrica y todas en el puerto. La Tabla 1 muestra un resumen cualitativo de las mejores opciones en cada escenario evaluado.

Tabla 1. Mejores opciones correspondientes en cada caso de estudio

		CATEGORÍA DE IMPACTOS					
		CC	WU	RU	AC	EF	EM
Lavado 100% Fábrica	Local						
	Regional						
	Nacional						
Lavado Base (20% Fábrica)	Local						
	Regional						
	Nacional						
Lavado 100% Puerto	Local						
	Regional						
	Nacional						

Mejor opción EPS(>10%)	
Mejor opción HDPE (>10%)	
Opciones similares (<=10%)	

## CONCLUSIONES

El principal problema ambiental para los dos tipos de cajas es la distribución y transporte de estas, por ello algunas medidas de mejora serían, el uso de camiones más eficientes y con menor consumo de combustible o que empleen combustibles menos contaminantes, así como la optimización de las rutas o de la carga de los camiones. En concreto, se ha llegado a la conclusión de que, con la optimización de las rutas, la mejor opción para distribuciones a menos de 75 km de distancia en el trayecto de ida son las cajas HDPE. Esto abarca la distribución local y gran parte de los trayectos regionales. A partir de esta distancia de 75 km las cajas EPS son la mejor opción ambientalmente y la diferencia aumenta considerablemente con la distancia, por lo que, los transportes a nivel nacional deberían hacerse con las cajas EPS, ya que es una caja mucho más ligera que la HDPE al estar compuesta al 98 % por aire.

## BIBLIOGRAFÍA

Directiva (UE) 2019/904 del parlamento europeo y del consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 12 de junio de 2019. [Consulta: 25-05-2023]. <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf>

Xunta de Galicia. 2019. Hemeroteca. [Consulta: 21-05-2023]. [https://www.xunta.gal/hemeroteca/-/nova/082548/xunta-pone-valor-papel-del-sector-pesquero-gallego-como-pieza-indispensable-economia?langId=es\\_ES](https://www.xunta.gal/hemeroteca/-/nova/082548/xunta-pone-valor-papel-del-sector-pesquero-gallego-como-pieza-indispensable-economia?langId=es_ES)

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA QUIMICA  
POR LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA Y LA UNIVERSIDAD DEL PAÍS  
VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA**

**SUMMARY OF THE FINAL MASTER PROJECT**

<b>TITLE</b>	<b>SINGLE-USE PLASTICS VS RETURNABLE PLASTICS: APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR THE DISTRIBUTION OF FISH IN SPAIN</b>		
<b>AUTHOR</b>	<b>Pablo González García</b>		
<b>DIRECTOR/CODIRECTOR</b>	María Margallo / Jara Laso	<b>DATE</b>	12/09/2023

### KEYWORDS

Life Cycle Assessment, expanded polystyrene, high-density polyethylene, Climate Change, distribution.

### SCOPE

The fishing and processing activity in Galicia is very significant, it alone concentrates more than 10% of fresh fish downloads in the European Union, contributes 20% of aquaculture production and is the first European region and the second in the world in production of canned fish and seafood (Xunta de Galicia, 2019). These quantities of fish are transported from boats to the fish market, industry or markets for sale, so a container is necessary that preserves its characteristics and properties throughout the journey. The current Directive (EU) 2019/904 indicates the ban on food and beverage packaging made of expanded polystyrene (EPS) from July 3, 2021, which is the main component of boxes for transporting fish. In Spain, it is applied in Law 7/2022, of April 8, on waste and contaminated soils for a circular economy, in which a tax on this plastic of €0.45/kg is established from 2023. It is therefore needed an alternative that is reusable, such as high-density polyethylene (HDPE), being necessary not only to comply with hygienic and preservation conditions, but also to evaluate its environmental impact. In this context, a Life Cycle Assessment (LCA) has been carried out to compare the environmental impact of the EPS and HDPE boxes necessary for the transport of 1,260,000 tons of fish. The system evaluated is the complete life cycle of the box, from when the raw materials arrive at the factory, until they are recycled for other uses, from cradle to cradle. The indicators studied have been Climate Change (CC), use of fossil resources (RU), water use (WU), marine eutrophication (EM), freshwater eutrophication (EF) and acidification (AC), from the Environmental Footprint method (EF) 3.0 and using the ACV Simapro software. Finally, a sensitivity analysis has been carried out to evaluate the influence of the place where the HDPE boxes are washed and the delivery distance of the established routes.

### RESULTS

The results show that the main environmental problem is due to transportation from the port to the points of sale along local, regional and national routes, having more than 50% of the impacts, even in the case of a local delivery. HDPE boxes have a greater impact since they have a greater weight, 1.2 kg to transport 10 kg of fish, compared to

EPS boxes that weigh 0.203 kg to transport 6.4 kg of fish. Secondly, for HDPE boxes, washing contributes between 12% and 30% depending on the delivery distance, while for EPS boxes it is the production of the container (2% to 20%), since they are single use, due to the electricity consumption needed in the extrusion processes. In third place would be the distribution of the boxes from the factory to the port and vice versa to change broken boxes, to clean them or to replace the EPS ones. The base case study established that 20% of the boxes were washed in the factory, so to optimize transportation, both extremes were studied, that all the boxes would be washed in the factory and all in the port. Table 1 shows a qualitative summary of the best options in each evaluated scenario.

Table 1. Best corresponding options in each case study

		IMPACT CATEGORY					
		CC	WU	RU	AC	EF	EM
Wash 100% Factory	Local						
	Regional						
	National						
Base wash (20% Factory)	Local						
	Regional						
	National						
Wash 100% Port	Local						
	Regional						
	National						

Best option EPS(>10%)	
Best option HDPE (>10%)	
Similar options (<10%)	

## CONCLUSIONS

The main environmental problem for the two types of boxes is their distribution and transportation, therefore some improvement measures would be the use of more efficient trucks with lower fuel consumption or those that use fewer polluting fuels, as well as the optimization of routes or truck loading. Specifically, it has been concluded that, with route optimization, the best option for distributions less than 75 km away on the outward journey are HDPE boxes. This covers local distribution and a large part of regional routes. From this distance of 75 km, EPS boxes are the best environmental option and the difference increases considerably with the distance, therefore, national transport should be done with EPS boxes, since it is a lighter box than HDPE being 98% composed of air.

## BIBLIOGRAPHY

Directiva (UE) 2019/904 del parlamento europeo y del consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*. 12 de junio de 2019. [Consultation: 25-05-2023]. <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf>

Xunta de Galicia. 2019. Hemeroteca. [Consultation: 21-05-2023]. [https://www.xunta.gal/hemeroteca/-/nova/082548/xunta-pone-valor-papel-del-sector-pesquero-gallego-como-pieza-indispensable-economia?langId=es\\_ES](https://www.xunta.gal/hemeroteca/-/nova/082548/xunta-pone-valor-papel-del-sector-pesquero-gallego-como-pieza-indispensable-economia?langId=es_ES)

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 EL SECTOR PESQUERO EN ESPAÑA

Durante el año 2020 se capturaron en España 787.258 toneladas de pescado con un valor de más de 1.500 millones de euros. La mayor parte, más de 600.000 toneladas, provinieron del océano Atlántico que es la zona habitual de pesca de la flota española y la más frecuentada por los barcos de las comunidades autónomas del norte de España que tienen un mayor impacto sobre el sector pesquero en el país. La Figura 1 muestra una tendencia regular en cuanto a las capturas y al valor económico de las especies capturadas entre los años 2012 y 2020. Se puede ver como el año 2020 es el peor debido a la crisis del COVID-19, que interrumpió temporadas de diversas especies. También se puede comprobar una caída del valor económico de las capturas en los años del 2018 al 2020. Con estos datos, la pesca por si sola, en su dimensión económica, aporta el 0,5% del PIB de España (MAPA, 2021).

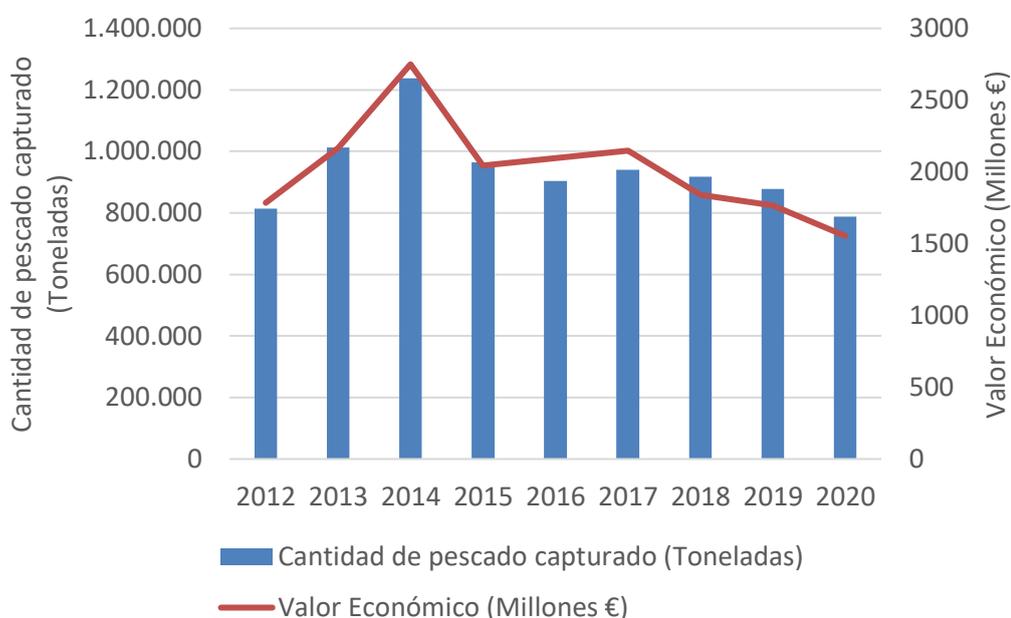


Figura 1. Pescado capturado y valor económico en España (MAPA, 2021)

La acuicultura es también una actividad muy importante en España siendo el Estado miembro de la Unión Europea con una mayor cosecha y el segundo lugar en cuanto a valor económico. La acuicultura es la producción en el agua de animales y plantas mediante técnicas encaminadas a hacer un uso más eficiente de los recursos naturales. Esta en 2020 sumó un total de 307.168 toneladas alcanzando un valor en su primera venta de 510,9 millones de euros. La principal especie es el mejillón (*Mytilidae*) con más del 70% de esta producción (APROMAR, 2021).

Después de las primeras etapas de pesca y acuicultura continua la producción, transformación y comercialización pesquero-alimentaria que generaron un total de casi 5.000 millones euros en 2020, siendo claramente la principal actividad comercial con un 68% del valor económico del sector pesquero. Durante este año se produjeron 825.000 toneladas de transformados de pescado y marisco, siendo los pescados en conserva o

preparados los que mayor peso tienen sobre el total, representando un 44,9%, seguido del pescado congelado (20%) y de los moluscos congelados (13%). La conserva de atún (*Thunnus alalunga*) es el principal producto producido y exportado por la industria de transformación y se sitúa en torno a 231 millones de kilogramos (ANFACO, 2020), representando más del 65% de la producción de la UE y el 12,7% del total mundial, siendo el segundo país productor, detrás de Tailandia y por delante de Ecuador, Irán y Estados Unidos (García y cols., 2019). En valor, vuelven a ser las conservas de túnidos el producto estrella de la industria conservera, representando más del 59% del total, seguido de las conservas de mejillones (7%) (ANFACO, 2021).

Todas estas labores de pesca, acuicultura y transformación generan gran cantidad de puestos de trabajo, su ocupación ha pasado de 163.804 empleos en 2016 a 171.645 en 2020, representando en ambos años un 0,89% de los puestos totales a nivel nacional (MAPA, 2020). Las grandes empresas agrupan el 70% de estos puestos de trabajo (ANFACO, 2021).

El COVID-19 ha incrementado el consumo de los hogares españoles en todas las categorías de productos de la pesca. El incremento del total ha sido del 8,3% en volumen y 11,1% en valor. En la Figura 2 se muestra que los pescados frescos con un 43% de consumo de productos de la pesca y la acuicultura son los más destacados seguidos de las conservas con un 20% y en tercer lugar los mariscos, crustáceos y moluscos frescos con el 15%. Cataluña y Madrid son las comunidades autónomas que más productos de la pesca consumen y el producto en conserva más destacado del país es el atún (ANFACO, 2021).

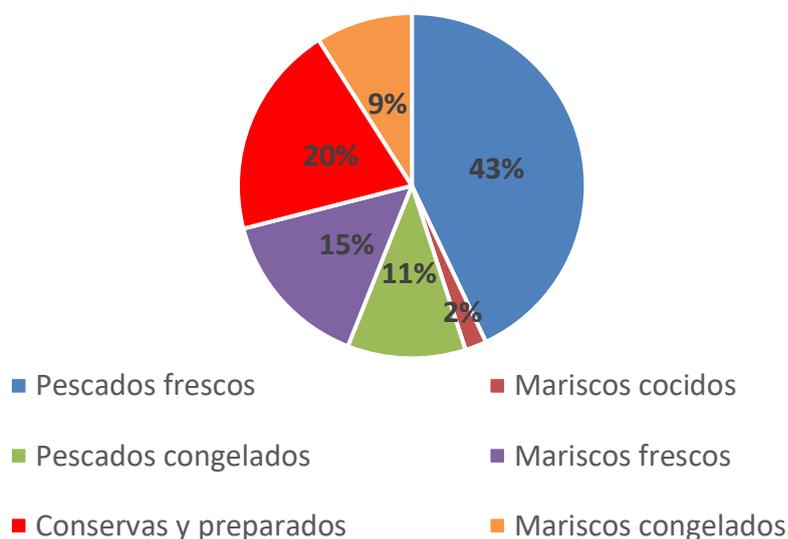


Figura 2. Reparto del consumo de productos de la pesca y la acuicultura (ANFACO, 2021)

El sector al completo supone el 0,75 % del Producto Interior Bruto (PIB) del país, manteniéndose estable en los últimos 10 años en la horquilla delimitada por el 0,81% (2009), el 0,88% (2016) y el 0,84% (2020) del valor añadido nacional (MAPA, 2020). Este generó un Valor Añadido Bruto (VAB) de más de 8.500 millones de euros.

## 1.2 IMPORTANCIA DE LA ACTIVIDAD PESQUERA EN GALICIA

Con más de 1.500 km de litoral, Galicia es una de las comunidades autónomas con mayor actividad pesquera. En el 2018, se capturaron 222.515 toneladas de pescado (IGE, 2023), y se realizaron exportaciones por valor de 4.272 millones de euros, de las cuales el 67,41% estaba dirigido al mercado español (García-Negro y cols., 2018). La región concentra más del 10% de las descargas de pescado fresco de la Unión Europea y es la primera región europea y la segunda mundial en la producción de conservas de pescado y marisco (Xunta de Galicia, 2019). Desde el punto de vista industrial, en el año 2020, el sector de conservas de pescados y mariscos de Galicia transformó 360.000 toneladas de productos del mar, facturando más de 1.700 millones de euros (Xunta de Galicia, 2021).

Según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Galicia concentra el 49% del arqueo total de la flota española en el cierre del año 2022 (MAPA, 2022). La Figura 3 muestra que en 2004 se censaron 5.565 embarcaciones, y desde entonces se ha observado un descenso en el número de barcos dedicados a la pesca, hasta los 4.232 en el año 2022. Esto indica una ligera y regular tendencia a la baja con respecto a años anteriores, excepto durante los años 2007 – 2008, en los que 300 embarcaciones dejan de formar parte del censo. Esto puede ser debido a la crisis económica internacional acontecida de forma más significativa en estos años (Instituto Gallego de Estadística, 2023). En el resto de la serie histórica esta disminución se debe a la cada vez menor rentabilidad de la pesca debido a la subida del precio del gasóleo, el cebo, los pertrechos, las tasas y el precio de las redes que están hechas con plásticos. El 80% del censo gallego son barcos pequeños dedicados a la pesca de bajura y artesanal, mientras que los buques de pesquería internacional representan una parte minoritaria, el 2% de las embarcaciones (Xunta de Galicia, 2023).

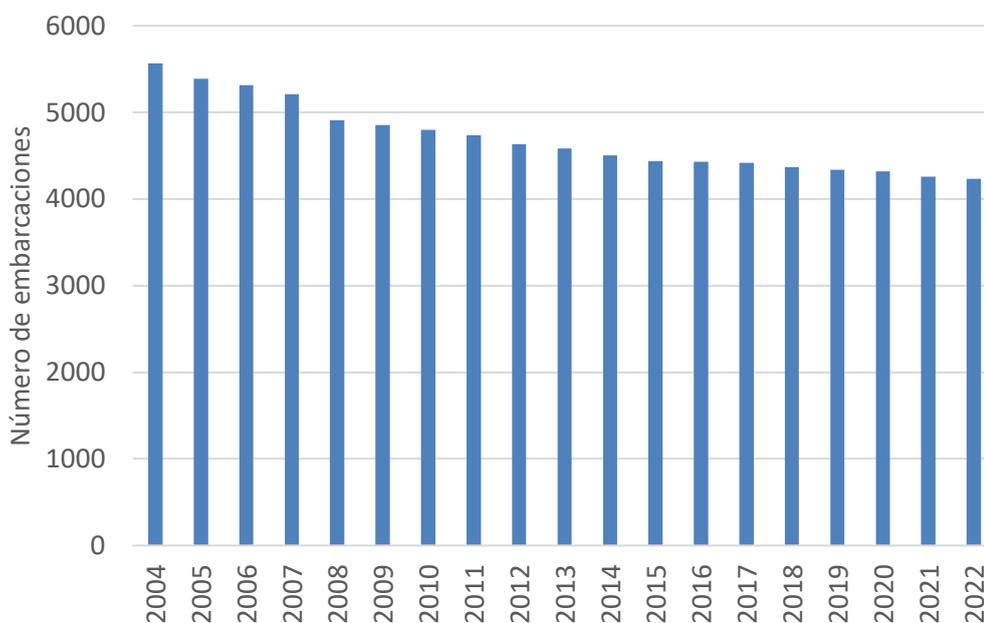


Figura 3. Número de embarcaciones registradas en Galicia entre 2004 y 2022 (IGE, 2023)

A pesar de esta disminución del número de embarcaciones, la pesquería sigue siendo una de las actividades más importantes e imprescindibles de Galicia. En 2022, más de 300 especies diferentes de pescado (bivalvos, cefalópodos, crustáceos, algas o equinodermos) llegaron a los 65 mercados gallegos. En la Figura 4 se muestran las principales especies capturadas en Galicia durante el año 2022 según el Anuario de Pesca de la Consejería de Mar (Consejería del Mar, 2023). Se capturaron un total de 134.250 toneladas de diferentes especies, siendo la merluza (*Merluccius merluccius*) la más común con un 16,36% de la cantidad total, seguida del lirio (*Micromesistius poutassou*) con el 15,95%, el jurel (*Trachurus murphyi*) con el 11,78%, la sardina (*Sardina pilchardus*) con el 8,53% y el calamar (*Loligo vulgaris*) y la caballa (*Scomber scombrus*) con un 7,68% y un 5,43%, respectivamente. Con unos porcentajes más bajos (por debajo del 5%) se encuentran el rape (*Lophius piscatorius*) y el gallo (*Gallus gallus domesticus*) (IGE, 2023).

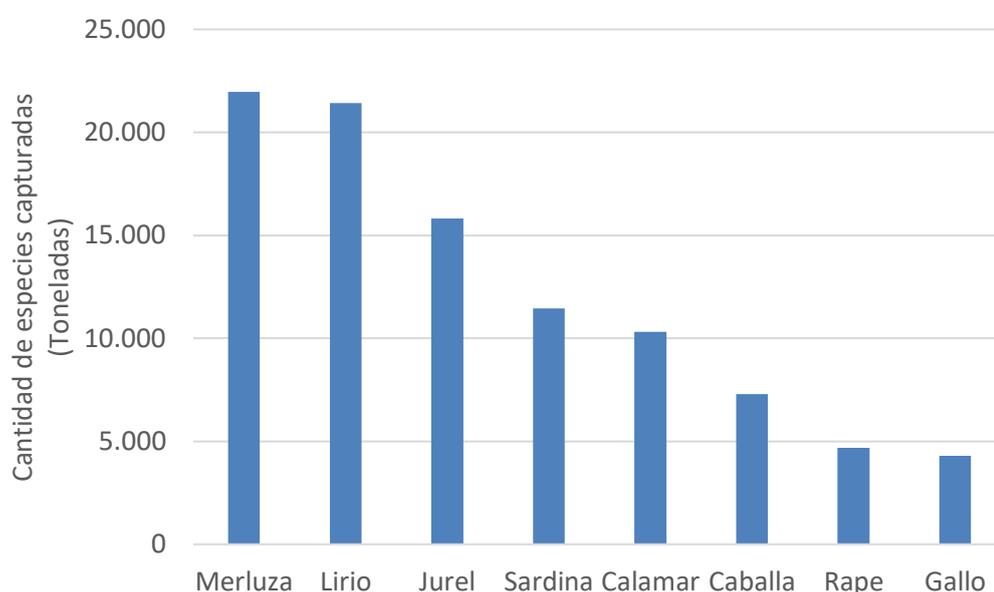


Figura 4. Principales especies capturadas en Galicia (Consejería del Mar, 2023)

La economía del sector pesquero actual es de gran importancia a nivel mundial, europeo y en particular a nivel autonómico. Los mercados son un buen termómetro de la evolución de la actividad marítimo-pesquera, y los resultados obtenidos en 2022 muestran cierta recuperación tras los difíciles años 2020 y 2021 por la pandemia de COVID-19 (Anuario de Pesca, 2022).

Para hacer una comparativa entre las diferentes actividades que engloban el sector pesquero la Tabla 1 resume los datos del año 2016. En ella se diferencian tres actividades: la pesca extractiva, la acuicultura y la transformación de estos productos en la industria. Se puede observar la gran importancia de la industria transformadora en cuanto a la producción y la facturación, además del gran VAB que genera. Además, se crearon más de 35.000 puestos de trabajo en las más de 3.000 empresas dedicadas a la actividad pesquera, generando un volumen de ingresos de más de 8.800 millones de euros. Toda esta actividad representa el 1,9 % del PIB gallego lo que supone 25 veces más que la media europea (Ardán, 2016).

Tabla 1. Datos del sector pesquero en el año 2016 en Galicia (Ardán, 2016)

Parámetro	Pesca Extractiva	Acuicultura	Industria de productos de la pesca
Facturación (mil. €)	801,6	247,93	7.807,77
Empleo	15.131	5.950	15.452
Producción (Toneladas)	180.463	250.142	593.089
VAB (mil. €)	43,94	273,94	706,41

### 1.3 ACTIVIDAD EN LAS LONJAS DE GALICIA

Las lonjas son las instalaciones en las que se efectúa obligatoriamente la primera venta de todos los productos de la pesca y el marisqueo. El control del desembarque y la primera venta es responsabilidad de los titulares de la autorización o concesión de las lonjas como las cofradías, las cooperativas, las vendedurías, o incluso la propia Autoridad Portuaria en algunos casos. Es en la primera venta cuando se le ponen precio de salida al producto y se etiqueta por primera vez (Xunta de Galicia, 2023).

El transporte hacia las lonjas y la actividad económica que se desarrolla en ellas es muy importante para el sector. En estos lugares, para la compra de pescado, se sigue la metodología de subasta holandesa, que consiste en comenzar la subasta con un precio elevado y se va reduciendo hasta que algún comprador la da por finalizada. En la Figura 5 se muestran las cantidades totales de especies subastadas y el valor alcanzado en los últimos 20 años (IGE, 2023).

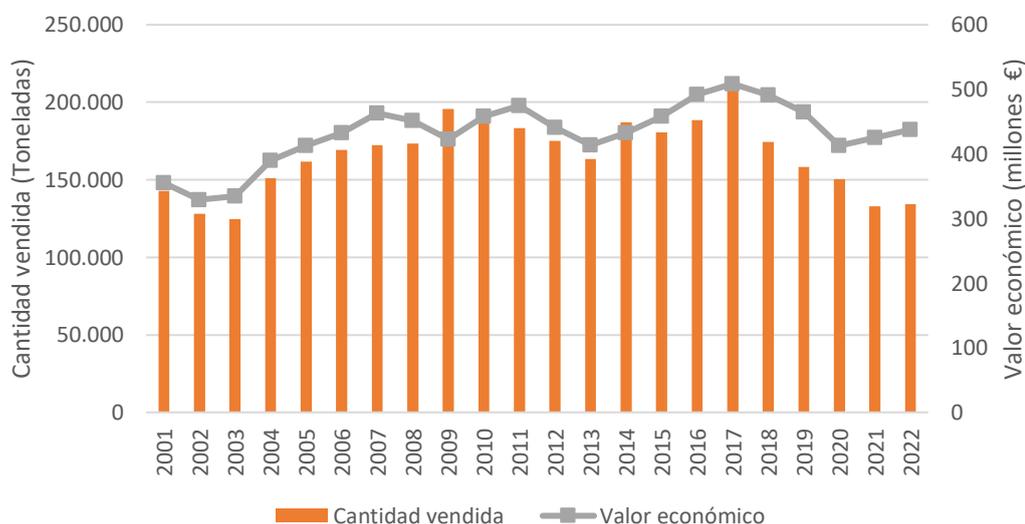


Figura 5. Cantidades de especies subastadas y valor económico obtenido en lonjas en toda Galicia (IGE, 2023)

En el 2022 se alcanzaron unas ventas por valor de 437,4 millones de euros para una cantidad de 134.287,11 toneladas de pescado. Esto da un precio medio de venta de 3,26 €/kg de pescado, el más alto desde el año 2001, que es el primero del que se tienen datos. Este dato está condicionado por la inflación que sufren los precios con el paso del

tiempo. Sin embargo, se puede observar una tendencia decreciente en la cantidad vendida de pescado desde el año 2017, en el que se alcanzó el valor máximo y por ello en valor económico. Hasta la actualidad, los datos de los dos últimos años 2021 y 2022 no eran tan bajos desde los años 2002 y 2003, por lo que también hay que tener en cuenta que es un sector muy importante el cual hay que cuidar y que concuerda con lo comentado anteriormente sobre la disminución del número de barcos censados: a menor flota menor capacidad de captura.

En particular, la lonja de la ciudad de Vigo tiene un importante impacto, ya que pone en el mercado más de 23.000 toneladas de pescado al año, siendo la tercera más importante de toda Galicia, por detrás de la lonja de Ribeira y de A Coruña. La ubicación de estas se muestra en la Figura 6. Las principales especies típicas de esta zona son el rape (*Lophius piscatorius*) con el 18,92%, el gallo (*Gallus gallus domesticus*) con el 14,66%, la juliana (*Lophius piscatorius*) con el 9,34%, la sardina (*Sardina pilchardus*) con el 9,12% y el jurel (*Trachurus murphyi*) con 6,26%. Desde la perspectiva económica, la lonja de Vigo representa el 21% de las ventas de la comunidad, generando alrededor de 92 millones de euros en 2022, siendo la más destacada a nivel económico. Esto se debe a que es la que mayor precio de pescado tiene por kg, 3,89€/kg (Anuario de Pesca, 2022).



Figura 6. Ubicación de las lonjas más importantes de Galicia (A Coruña, Ribeira y Vigo)

Estas grandes cantidades de pescado necesitan ser trasladadas desde barcos hacia la lonja, industria o mercados en los que se va a producir su venta, por lo que es necesario un envase que conserve sus características hasta estos puntos. Esto genera una problemática ambiental, ya que estos envases actualmente son de plástico, cuyo papel en la seguridad alimentaria y en la reducción del desperdicio de alimentos lo convierten en un material imprescindible para el sector de la alimentación. Actualmente, el transporte se realiza mayoritariamente en cajas de porexpan o poliestireno expandido debido a su bajo peso, ya que está compuesta por un 98% de aire. Esto le confiere ligereza, aunque tiene el inconveniente de ser de un solo uso, motivo por el cual se busca seguir evolucionando los plásticos con nuevas alternativas.

## 1.4 EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS

Los plásticos son una inmensa familia de materiales únicos y versátiles creados para ofrecer soluciones alternativas y sostenibles a las nuevas necesidades y desafíos de la sociedad (Alvira, 2007). Es por ello, que en tan solo unas décadas ha pasado a ser omnipresente en todo tipo de objetos y materiales por sus características -flexibilidad, durabilidad y ligereza- y bajo precio. Sin embargo, este material es un claro reflejo de la cultura de “usar y tirar”, ya que gran parte se emplea en envases que tienen una vida útil muy corta, lo que implica un gran impacto ambiental (MITECO, 2022).

Como se muestra en la Figura 7, la producción de plásticos a nivel global y europeo ha aumentado desde que se comenzaron a fabricar a nivel industrial en el año 1950, con una producción mundial actual de 367 millones de toneladas. A nivel europeo, la producción se ha mantenido estable, entre 55 (2009) y 64,4 (2017) millones de toneladas (Statista, 2020).

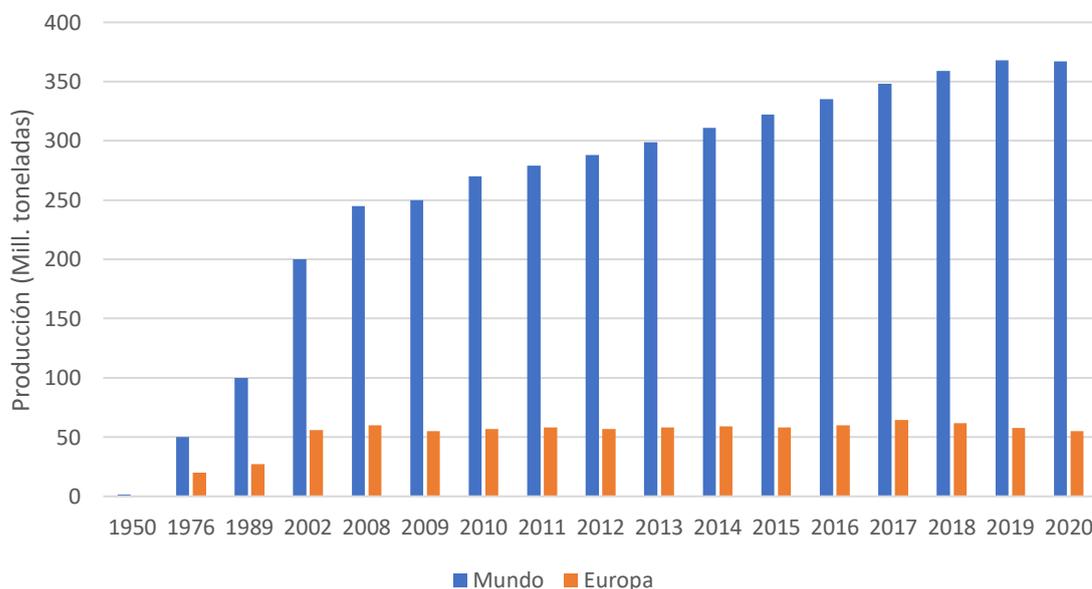


Figura 7. Evolución de producción de plástico desde 1950 a 2020 (Statista, 2020)

Estas diferencias entre las cantidades de plástico de Europa y el mundo son debidas principalmente a la producción de Asia. Como muestra la Figura 8, la producción europea de plásticos representa el 16% del total, mientras que Asia domina algo más de la mitad del mercado mundial (51%), puesto que China es el principal productor con el 31%. El grupo del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) conformado por México, Canadá y Estados Unidos es la segunda región en producción (Plastics Europe, 2020).

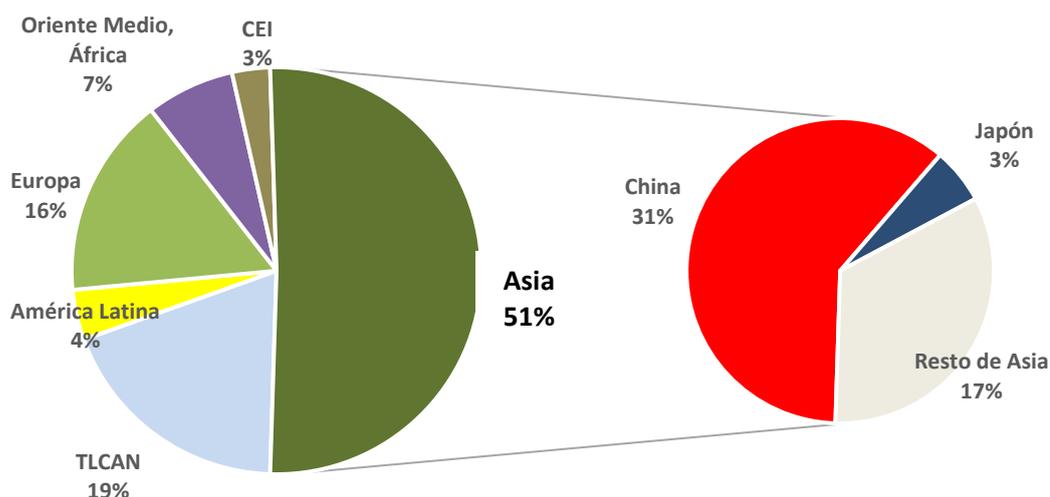


Figura 8. Distribución de la producción de plásticos en el mundo (Plastics Europe, 2020).

Dentro de esta demanda europea el reparto del plástico con diversos usos se muestra en la Figura 9. Los envases y la construcción y edificación representan los mayores mercados de uso final con un 40% y un 20%, respectivamente. El tercer mayor mercado de uso final es la industria de la automoción (10%). La categoría “Otros” engloba aparatos electrodomésticos, ingeniería mecánica, muebles, aplicaciones médicas, etc.

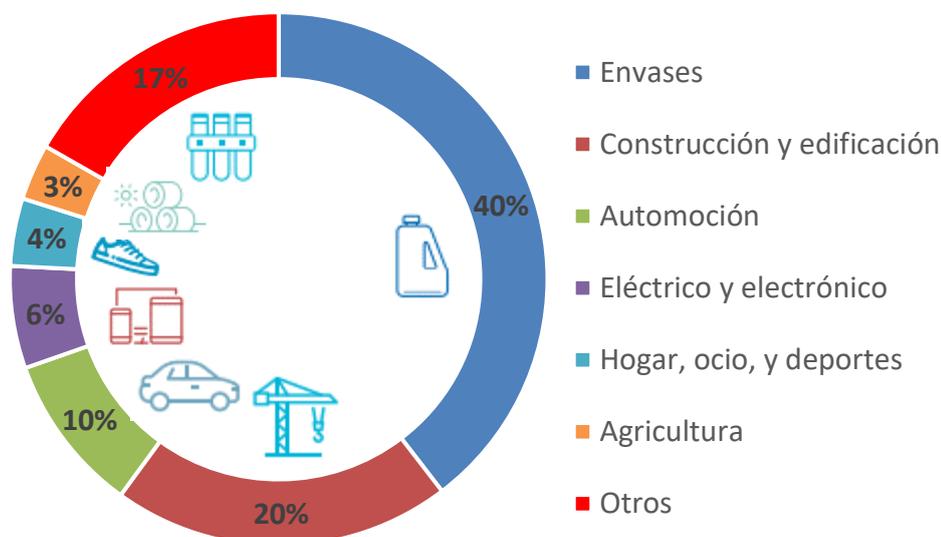


Figura 9. Distribución de la demanda de los transformadores de plásticos en Europa por segmento en 2019 (Plastics Europe, 2020).

El caso de estudio que se presenta en este trabajo pertenece al sector que mayor cantidad de plásticos demanda, el sector de los envases, de los cuales el 60% se destina a aplicaciones de alimentos y bebidas (Plastics Europe, 2020).

A nivel nacional, la demanda en España fue de más de 3 millones de toneladas durante el año 2021, representando el 7,5 % de la demanda europea. Esto es la cuarta más alta de Europa tan solo por detrás de Alemania, Italia y Francia, las cuales tuvieron como demanda un 23,2%, un 14,3% y un 9,4%, respectivamente (Plastics Europe, 2022).

## 1.5 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Esta preocupación en los envases utilizados en el sector pesquero se aborda en las Directivas europeas, como es la Directiva 2019/904 del parlamento europeo y del consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. El problema se basa en que los productos plásticos no están diseñados para ser reutilizados o reciclados de manera económicamente eficiente, lo que provoca que los modelos asociados de producción y consumo sean cada vez más ineficientes y lineales. Por lo que, es necesario gestionar el aumento constante de la generación de residuos plásticos y del abandono de estos en el medio ambiente, en particular el medio marino, para conseguir que el ciclo de vida de los plásticos sea circular. Dicha prevención de residuos ocupa el primer puesto en la jerarquía de residuos que establece la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (BOE, 2019). La presente Directiva contribuirá a alcanzar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por ejemplo, el objetivo 12 “Producción y consumo responsables”, que aborda la preocupación por la pérdida de alimentos y su calidad en el transporte y en objetivo 9 “Industria, innovación e infraestructura”, que busca poder construir la llamada infraestructura resiliente y sostenible. Estos fueron aprobados por la ONU en 2015 como Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible (ONU, 2015).

Como subconjunto del sector industrial, la cadena de valor de los plásticos fue responsable de 1,4 GtCO<sub>2</sub> eq. en 2020, o el 4% de las emisiones relacionadas con la energía. Las predicciones, si no se producen modificaciones en la industria, tendrán como resultado casi el doble de emisiones, 2,6 GtCO<sub>2</sub> eq. en 2040 y el 7% de las emisiones relacionadas con la energía (Wood Mackenzie, 2021). La problemática ambiental que se desencadena a partir del plástico es de doble vía. Por un lado, se deteriora un recurso natural no renovable, y por el otro, se generan como consecuencia grandes volúmenes de residuos, ya que la composición de los residuos urbanos ha cambiado bastante en las últimas décadas y uno de los cambios más representativos es el aumento progresivo del plástico, destacando que su tiempo de descomposición oscila entre 100 y 450 años (Alvira, 2007).

Si los residuos plásticos no son correctamente gestionados o directamente se abandonan en cualquier sitio, pasan a contaminar el medio terrestre y muchos llegan a los océanos a través de las vías fluviales. Con el aumento constante de su producción, la presencia de plásticos en los océanos se ha convertido en un problema que crece a gran velocidad. La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. Tan solo durante el periodo 2002-2013 aumentó un 50% (MITECO, 2022). Una vez dentro del océano, los plásticos son expuestos a temperaturas cambiantes, radiación ultravioleta, salinidad, así como a la fuerza mecánica de las mareas, lo que provoca que estos se fragmenten y formen macroplásticos y microplásticos. Estos pueden ser ingeridos por la fauna marina, lo que les produce alteraciones en el tracto digestivo y hasta la muerte. Además, cuando la fauna marina los traga, pueden introducirse a la cadena alimenticia y afectar la salud humana. Pueden alcanzar profundidades de hasta 10.000 metros por debajo de la superficie del mar y contaminarlo en varios niveles (INCyTU, 2019).

El progreso del sector se centra, entre otros, en reciclar estos plásticos, mejorar su producción, su economía circular, sus materiales y la reutilización. Con el plástico reciclado se elaboran actualmente, juguetes, mangueras, baldes y platones, ganchos de ropa, etiquetas, entre muchos otros objetos de uso comercial y casero. Es primordial que se desarrollen investigaciones para conseguir materiales sustitutos del plástico que impacten menos el medio ambiente, y otras que apunten a fortalecer las cadenas de reciclaje con métodos que sean viables y sostenibles en el tiempo (Alvira, 2007).

## **1.6 CONSERVACIÓN DE LOS PRODUCTOS PESQUEROS**

Para que el pescado llegue a la lonja, al punto de venta o a las fábricas para su transformación tiene que cumplir una serie de requisitos para su correcta conservación y calidad al tratarse de elementos de consumo alimenticio.

Este transporte y conservación comienza dentro del barco, donde las capturas se almacenan con hielo en cajas hasta que el barco regrese al puerto, donde se producirá el descargue de este y su transporte a la lonja en camión generalmente (aunque el transporte se podría dar desde el propio barco a la lonja).

El mantenimiento de la cadena de frío es crítico para la conservación de los productos. Una rotura de la cadena del frío o un cambio brusco de temperatura puede dañar al producto acortando su vida útil. Para su correcta conservación, los productos frescos de la pesca se mantendrán a una temperatura comprendida entre 0º C y 4º C a lo largo de toda la cadena de suministro. Para ello, todos los agentes implicados en la misma deben comprometerse en poner los medios necesarios para mantener el producto dentro del rango de temperatura óptima y evitar los choques térmicos. Para cumplir con este requisito, en los barcos se emplea hielo o cualquier sistema que permita garantizar la temperatura de conservación del producto (gel pack, refrigeración, etc.), en caso de que no cuente con cámaras refrigeradas.

En lo referente a la descarga de los productos pesqueros, no se emplearán herramientas ni se efectuarán manipulaciones que puedan dañar a las partes comestibles de los productos pesqueros. Además, el producto no estará en contacto directo con el suelo, sino que estará aislado del mismo y se expondrá sobre una paleta de plástico, en caja de plástico u otro aislante conveniente (Ministerio de Fomento, 2014).

En general, para que el envase sea ideal para el manejo de pescado y cumpla con los requisitos de calidad, se tienen que cumplir los siguientes puntos (Akm, 2007):

1. Tener un tamaño adecuado para manejar cualquier tipo de pescado cómodamente.
2. Ser fácil de manejar, transportar y limpio.
3. Estar diseñado con el debido aislamiento para mantener temperatura si el pescado helado es cargado.
4. Permitir el drenaje del agua derretida.

5. Proteger el pescado de aplastamiento, deterioro ambiental, contaminación y hurto.
6. Ser fácil de almacenar y eficaz para el transporte de pescado refrigerado.

El plástico, por sus características de maleabilidad y coste, es un elemento muy útil para el sector pesquero ya que es un material impermeable y resistente al agua que permite evitar el escurrido por el exudado de los productos, así como también evita que otros líquidos accedan al producto. Además, dado que los plásticos son buenos aislantes térmicos, también son útiles para conservar la temperatura de los productos. Estas dos características permiten el uso de hielo para mantener baja la temperatura de los productos, imprescindible para asegurar la seguridad alimentaria de los alimentos que contienen, objetivo fundamental para toda la cadena pesquera (FEDEPESCA, 2021).

### **1.7 ENVASES PLÁSTICOS UTILIZADOS EN BARCOS, PUERTOS Y LONJAS**

Cuando los barcos atracan en el puerto, el pescado fresco se coloca en cajas de plástico con hielo para su transporte. Este tipo de cajas reemplazaron al bambú y a las cajas de madera por su mayor higiene, ligereza y resistencia. Las cajas son de polietileno de alta densidad (HDPE), polipropileno (PP) y poliestireno expandido (EPS), las cuales necesitarán de unas ciertas características para poder cumplir con los requisitos necesarios para mantener la calidad del producto (Akm, 2007).

#### **1.7.1 Polietileno de alta densidad (HDPE)**

El HDPE se puede moldear por extrusión, soplado e inyección por lo que puede adoptar una gran variedad de formas y ser de utilidad en diversos sectores. La densidad molecular del HDPE le aporta al envase dureza, resistencia y una mayor tolerancia a las altas temperaturas. Además, presenta otras cualidades como su bajo coste, su flexibilidad, su durabilidad y su capacidad para resistir el proceso de esterilización (FEDEPESCA, 2021). Algunas de sus características son:

- Elasticidad y flexibilidad: lo que le hace un material apreciado a la hora de fabricar envases al ser fácilmente procesable. Esta característica evita posibles roturas de estos.
- Bajo coste: su fácil fabricación y los materiales para fabricarlo hacen que el precio de este envase sea asequible.
- Alta resistencia química y térmica: sus características le confieren esta alta resistencia que puede ser de utilidad a la hora de mantener la temperatura del producto y en el proceso de limpieza.
- Resistencia al impacto: su baja ramificación le confiere una resistencia notable para asegurar el producto frente a daños físicos.
- Material incoloro y casi opaco.
- Ligero: facilita el transporte y la manipulación.

- Larga vida útil.
- Es un material inerte: no traslada ninguna sustancia al producto con el que esté en contacto.
- Baja absorción de humedad: no se daña con el agua y disminuye su peligrosidad microbiológica.
- Reciclable: los envases fabricados con HDPE se pueden reciclar con métodos mecánicos o térmicos. Su código de identificación corresponde al 2, este es el número que se puede encontrar ubicado en la parte inferior o a un lado del envase y es también el encargado de clasificar el tipo de resina plástica utilizada para la producción del mismo.

### **1.7.2 Polipropileno (PP)**

El polipropileno, al igual que el HDPE, es un polímero termoplástico perteneciente a la familia de las olefinas. Se obtiene por polimerización de propileno, un gas que se obtiene como coproducto del etileno en los procesos de refinado del petróleo (FEDEPESCA, 2021). Algunas de sus características son:

- Alta resistencia: tanto al impacto como a la flexibilidad.
- Alta resistencia química y térmica: sus características le confieren esta alta resistencia que puede ser de utilidad a la hora de mantener la temperatura del producto y en el proceso de limpieza.
- Baja absorción de humedad: no se daña con el agua y disminuye su peligrosidad microbiológica.
- Ligereza: es uno de los materiales plásticos con menor densidad.
- Bajo coste: su fácil fabricación y los materiales para fabricarlo hacen que el precio de este envase sea asequible.
- Larga vida útil.
- Es un material inerte: no traslada ninguna sustancia al producto con el que esté en contacto.
- Recuperación elástica.
- Reciclable: Es un material fácil de reciclar y su código de identificación plástico viene numerado por el 5.

### **1.7.3 Poliestireno expandido (EPS)**

El EPS es un material plástico compuesto por un 98% de aire. En comparación con los otros dos materiales anteriormente nombrados, el envase obtenido es menos resistente y rígido, pero aun así sigue siendo resistente para la función prestada. También es el

único de los 3 materiales plásticos usados en lonja que no es reutilizable (FEDEPESCA, 2021).

- Es un material inerte: no traslada ninguna sustancia al producto con el que esté en contacto.
- Aislante térmico: alta capacidad de aislar el producto y mantener la temperatura interna del mismo al estar conformado en un 98% aire, que en reposo es un excelente aislante térmico.
- Baja absorción de humedad: no se daña con el agua y disminuye su peligrosidad microbiológica.
- Alta resistencia térmica: el rango de temperaturas en el que este material puede usarse con total seguridad sin que se vea afectado, no tiene limitación por el extremo inferior. Por otro lado, el limitante superior es una temperatura alrededor de los 100°C.
- Amortiguación: propiedad que hace que este material proteja contra impactos y daños.
- Ligereza: su alto contenido en aire hace que sea un material ligero.
- Bajo coste: su fácil fabricación y los materiales para fabricarlo hacen que el precio de este envase sea asequible.
- Reciclable: es un material fácil de reciclar y su código de identificación plástico viene numerado por el 6.

Se ha elaborado una tabla resumen de los tres plásticos para poder destacar sus características y tener una comparación más visual entre ellos. Se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparativa de las características de las cajas HDPE, PP y EPS

	<b>HDPE</b>	<b>PP</b>	<b>EPS</b>
Aislante térmico	Alta resistencia	Alta resistencia	Excelente resistencia
Aislante de humedad	Baja absorción	Baja absorción	Baja absorción
Resistencia térmica	Alta resistencia	Alta resistencia	Excelente resistencia
Amortiguación	Alta	Notable	Notable, pero se puede descomponer
Ligereza	Ligero, pero más pesado que PP y EPS	Ligero	Muy ligero (98% aire)
Coste	Asequible	Asequible	Bajo
Reciclaje	Fácil. Número 2	Fácil. Número 5	Fácil. Número 6
Vida útil	Larga	Larga	Un uso

## 1.8 INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Las cajas de pescado están fabricadas a partir los tres tipos de plásticos anteriormente descritos, HDPE, PP y EPS, los cuales tienen importantes impactos ambientales. Así la producción de estos polímeros contribuye al calentamiento global, en particular, el HDPE genera 1,65 kg CO<sub>2</sub>/kg, el PP 2,02 kg CO<sub>2</sub>/kg y el EPS 3,07 kg CO<sub>2</sub>/kg (Sanyé-Mengual y cols., 2014).

Para poder determinar los puntos críticos de los sistemas y encontrar la alternativa más favorable ambientalmente, el uso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ha demostrado ser la herramienta más completa y adecuada para abordar la evaluación ambiental de un producto, proceso o servicio, al proporcionar criterios de toma de decisiones para los productores y las partes interesadas (Barros y cols., 2019).

La metodología de ACV se rige por las normas ISO 14040 (ISO, 2006a) e ISO 14044 (ISO, 2006b), definiéndola como una recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida (ISO, 2006a). El ACV ayuda a comprender de una manera global las implicaciones ambientales del proceso estudiado. El alcance de la responsabilidad ambiental va más allá del producto y del proceso teniendo en cuenta el impacto desde la cuna hasta la tumba, es decir, desde la extracción de materias primas hasta el final de vida de los propios productos.

La metodología del ACV se divide en cuatro fases representadas en la Figura 10 junto con sus aplicaciones directas: 1) la definición del objetivo y alcance; 2) el análisis de inventario; 3) la evaluación del impacto; y 4) la interpretación, todas ellas están interrelacionadas.

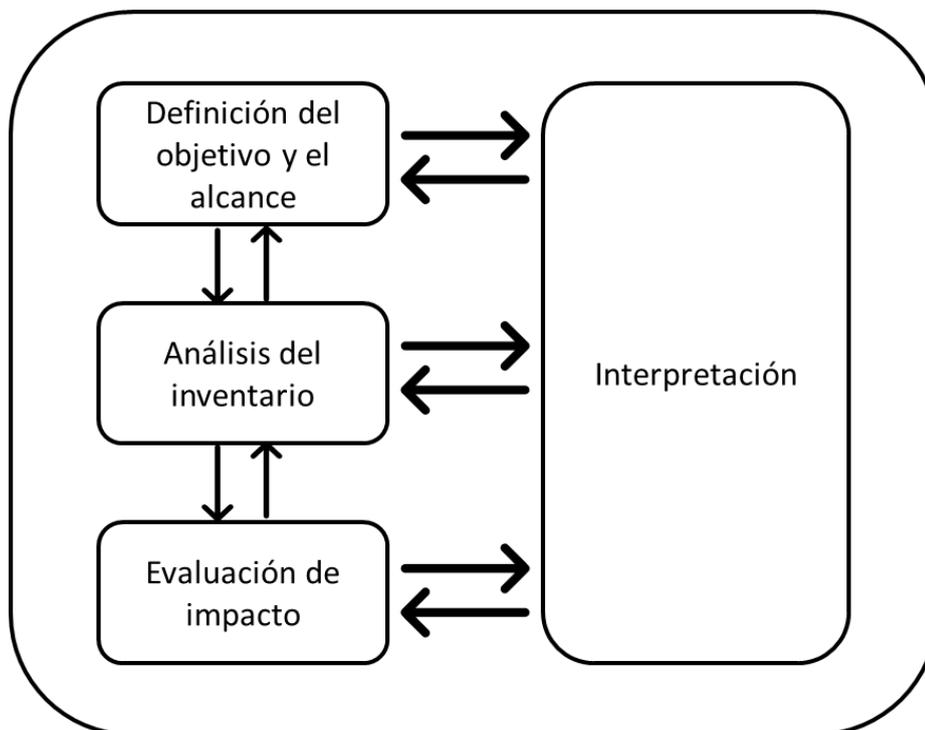


Figura 10. Etapas del Análisis de Ciclo de Vida (ISO, 2006)

La definición del objetivo y del alcance es la etapa más importante, ya que se realizan las elecciones iniciales que determinan el plan de trabajo de todo el ACV (Guinée y cols., 2004). El objetivo del ACV establece la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio y el público previsto, es decir, las personas a quienes se prevé comunicar los resultados de estudio. Mientras que el alcance incluye el sistema del producto a estudiar, la unidad funcional, que es la medida de la función del sistema estudiado y da una referencia de cuáles son las entradas y salidas relacionadas permitiendo la comparación de dos sistemas diferentes, una descripción de sistema de estudio incluyendo los límites del sistema, las asignaciones y todas las hipótesis que se hayan considerado (ISO, 2006).

El análisis de inventario de ciclo de vida (ICV) corresponde al inventariado de cargas ambientales. Se trata de la recopilación y cuantificación de entradas y salidas para la posterior resolución de balances de materia y de energía, tras definir el sistema a estudiar y presentarlo mediante un diagrama de flujo donde aparecen todas las etapas del proceso (Fullana y cols., 1997).

La evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV) tiene por objeto comprender y evaluar la magnitud y la importancia de los posibles impactos para un sistema de producto (ISO, 2006). Ayuda a convertir los datos del inventario en impactos ambientales, a través de una serie de categorías de impacto, como pueden ser la reducción de la capa de ozono, la acidificación, la eutrofización, la toxicidad o el agotamiento de recursos, (Fullana y cols., 1997).

La interpretación consiste en la presentación de resultados según objetivos, las conclusiones del análisis del inventario y de los impactos se analizan con el fin de proporcionar una evaluación fácilmente comprensible y completa, y presentar de forma coherente los resultados de un ACV (ISO, 2006). Esta interpretación además de identificar los puntos ineficientes en las empresas también sirve para valorar si las mejoras de un proceso que se proponen no causan detrimento en otras partes, es decir, se puede detectar si al mejorar algo se están empeorando otras cosas (Aranda, 2006).

Se propone el uso de la metodología ACV porque es una herramienta de gestión que ayuda a proponer una estrategia medioambiental acorde con cada línea de negocio con la finalidad de generar valor para la empresa disminuyendo los costes asociados a los consumos energéticos y de materiales. Se trata por tanto de una herramienta de gestión empresarial (Aranda, 2006).

## **1.9 ANTECEDENTES**

La importancia de los envases alimentarios justifica la necesidad de evaluar los impactos ambientales correspondientes ya que pueden ser responsables de una parte considerable de la carga ambiental de un producto, a pesar de su brevísima fase de uso (Licciardello y cols., 2017). La búsqueda de condiciones óptimas para minimizar los impactos negativos de los envases de alimentos sobre el medio ambiente debe promover la selección de los mejores envases disponibles (Abejón y cols., 2020). La Tabla 3 muestra la bibliografía utilizada en la que se hacen comparativas ambientales entre diferentes opciones en sus ciclos de vida.

Tabla 3. Artículos científicos sobre comparativas ambientales entre cajas y su ciclo de vida

<b>Autor</b>	<b>Tipo de cajas</b>	<b>Ámbito</b>	<b>Mejor opción</b>	<b>Principal impacto</b>
Abejón y cols., 2014	Cajas de plástico reutilizables y las cajas de cartón de un solo uso	Transporte de fruta	Cajas de plástico reutilizables	Fabricación y Vida útil
Koskela y cols., 2014	Plástico reutilizable y las cajas de cartón reciclable	Reparto de pan	Cajas de cartón corrugado reciclable	Transporte
LCA Consulting Oy y Storaenso Oyj, 2018	Cartón corrugado y el EPS	Transporte de pescado fresco	No se destaca una	Producción
PwC, 2011	EPS, PP y cartón corrugado	Transporte de pescado fresco	No se destaca una	Producción y peso de las cajas

El estudio realizado por Abejón y cols., (2020) evalúa el impacto de las cajas para el transporte de fruta. Compara dos opciones: las cajas de plástico reutilizables y las cajas de cartón de un solo uso. Según los resultados obtenidos, las cajas de plástico reutilizables son la mejor opción, ya que el impacto y consumo de energía es superior en el caso de las cajas de cartón de un solo uso. El principal impacto de estas cajas está asociado a la etapa de fabricación y para las cajas de plástico su impacto potencial proviene de la vida útil de las cajas. Por lo que se concluye, que los envases plásticos no deben excluirse ni prohibirse, ya que puede ser la opción más respetuosa con el medio ambiente en determinadas ocasiones (Abejón y cols., 2020).

Dentro del sector pesquero, las empresas Storaenso Oyj y LCA Consulting Oy elaboraron una comparativa entre el cartón corrugado y el EPS para el transporte de pescado fresco. La parte del proceso con mayor importancia en cuanto a impactos ambientales es la producción de envases, que incluye la producción de materias primas y la formación del envase. De acuerdo con los resultados, no se puede afirmar categóricamente que el cartón corrugado o el paquete EPS se desempeña mejor que el otro (LCA Consulting Oy y Storaenso Oyj, 2018).

También se hizo una comparativa ambiental en este mismo sector entre tres tipos de cajas de pescado por PwC para el transporte de pescado fresco. Las tres opciones evaluadas fueron la caja de EPS, de polipropileno y de cartón corrugado, considerándose todo el ciclo de vida del envase para pescado fresco. El estudio identificó como el principal impacto la producción de las materias primas, destacando en el análisis de sensibilidad el peso de las cajas como el parámetro clave. Como conclusión, se destaca que no hay una única mejor opción, ya que los impactos varían según los pesos utilizados en los mercados francés, español y escandinavo (PwC, 2011).

Por último, Koskela y cols. (2014) compararon las cajas de plástico reutilizable con las cajas de cartón reciclable para el reparto de pan. Se obtuvo que el sistema de cajas de

cartón corrugado reciclables era una opción más respetuosa con el medio ambiente. El transporte jugó un papel muy importante, siendo la carga el principal factor. Las mayores diferencias en los impactos de transporte entre los sistemas fueron causadas por los diferentes pesos de las cajas.

En conclusión, los trabajos publicados no arrojan de manera clara cuál es la mejor alternativa de envase en cuanto a material y número de usos, ya que hay muchos parámetros que influyen en la respuesta, como el peso, el índice de rotura o la distancia de transporte. Sin embargo, los estudios coinciden en que el principal impacto y, por lo tanto, la fase del proceso a la que se deberá dedicar la mejoras sería la etapa de producción de las cajas. Más concretamente, la obtención de las materias primas de las diferentes cajas parece ser el problema del proceso. Aunque también se destaca el transporte como un factor influyente.

### **1.10 OBJETIVOS DEL TRABAJO**

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto ambiental de los envases para transportar el pescado y el marisco fresco desde los barcos hasta los mercados. En concreto, se han analizado los envases empleados actualmente, cajas HDPE reutilizables y cajas de EPS de un solo uso. Se ha tomado como caso de estudio la distribución del producto que llega al puerto de Vigo hacia una lonja gallega, a mercados locales y regionales y a otras partes de la península. Este estudio permitirá determinar el envase con un mejor comportamiento ambiental, así como estudiar alternativas de nuevos materiales de envasado para poder proponer mejoras en los cuellos de botella del proceso de fabricación de estos.

Para poder alcanzar el objetivo principal se han desarrollado una serie de estudios específicos:

- Establecer el alcance del estudio definiendo la unidad funcional, límites y asignaciones que fuesen necesarias.
- A partir de los datos obtenidos por las empresas elaborar el inventario de análisis de ciclo de vida.
- Conocer que alternativa de los dos casos es más eficiente y con un menor impacto medioambiental.
- Evaluar la influencia del transporte con diferentes mercados: a nivel local, regional y nacional.
- Comparar los resultados con otros estudios para obtener conclusiones.

## 2. METODOLOGÍA

En este trabajo se ha desarrollado un estudio del impacto ambiental de envases de pescado, siguiendo las directrices de las normas ISO 14040 e ISO 14044 que rigen la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ISO, 2006a, b). Según los estándares de la normativa, el estudio de ACV debe de contener la definición del objetivo de estudio y su alcance, el análisis del inventario de ciclo de vida, la evaluación del impacto del ciclo de vida y una interpretación de los resultados.

### 2.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE

Este estudio tiene como finalidad la evaluación ambiental de dos alternativas de envases de plástico para el transporte de pescado, las cajas de EPS de un solo uso y las cajas de HDPE reutilizables. El sistema consiste en la distribución de los productos pesqueros desde el puerto al que llegan los barcos hasta los mercados de Galicia, además de algún punto de España. Se conocerán los puntos críticos del proceso mediante indicadores ambientales, se seleccionará el envase que mejor resultado proporcione y se propondrán mejoras siempre siguiendo la metodología del ACV.

#### 2.1.1 Unidad funcional

Para poder comparar los dos tipos de envases es necesario establecer una unidad de referencia. La unidad funcional (UF) permite cuantificar el rendimiento de un sistema y proporciona una referencia común a la que se referirán tanto las entradas y salidas del sistema como los resultados (ISO, 2006a). En este caso de estudio, la función del sistema es la capacidad de un envase específico para contener y transportar de manera repetida una cantidad de pescado de la manera más sostenible posible. Por lo tanto, inicialmente, la UF se ha definido como la distribución de 1.000 toneladas de pescado en cajas de EPS de un solo uso y cajas de HDPE reutilizables. Para traducir esta UF en flujos de referencia de cajas, se debe tener en cuenta la capacidad de las cajas que se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de las cajas de EPS y HDPE

	Caja EPS	Caja HDPE
<b>Imagen</b>		
<b>Dimensiones (cm)</b>	40x40x13	60x40x13
<b>Peso caja (kg)</b>	0,203	1,2
<b>Capacidad (kg)</b>	8	12
<b>Contenido de hielo (kg)</b>	1,6	2
<b>Contenido de pescado (kg)</b>	6,4	10
<b>Reutilizable</b>	No	Si
<b>Vida útil</b>	--	10,5 años
<b>Rotaciones/año</b>	--	120

Las cajas de EPS tienen una capacidad de 8 kg de los cuales 1,6 kg suelen ser de hielo y los 6,4 kg restantes serán de pescado. Por otro lado, las cajas de HDPE una capacidad de 12 kg, de los cuales 10 kg son de pescado y 2 kg de hielo. Con estas capacidades para poder transportar las 1.000 toneladas de pescado se necesitarían 125.000 cajas en el caso del EPS y 100.000 cajas en el caso de HDPE.

Además, hay que tener en cuenta las rotaciones de las cajas HDPE. Este tipo de cajas tienen una vida útil de 10,5 años, un ciclo de rotaciones de 10 por año y un índice de rotura de un 1%. A esas 100.000 cajas que se necesitan hay que añadir otras 1.000 que se irán rompiendo a lo largo de los ciclos, por lo que serán 101.000 cajas que darán la capacidad de completar 126.000.000 llenados. Para tener en cuenta estas rotaciones, se redefinió la UF que será el transporte de 1.260.000 toneladas de pescado. Como las cajas de EPS son de un solo uso se necesitarán entonces 196.875.000 cajas. Esto se presenta en la Figura 11.

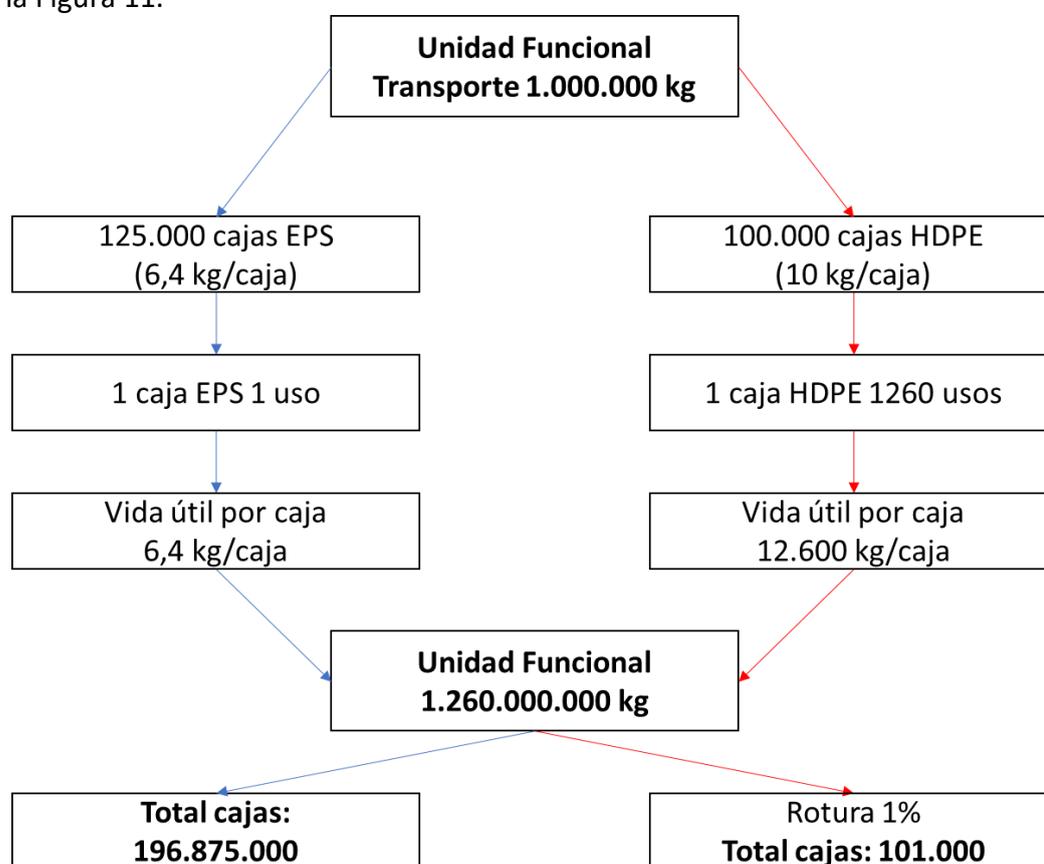


Figura 11. Esquema explicativo de la unidad funcional

### 2.1.2 Descripción del sistema

En este estudio se ha considerado la etapa de extracción de materias primas para la producción de los envases, su distribución y uso, y el reciclaje como fin de vida. Para una vista clara del esquema del proceso que cumplen las cajas se ha elaborado la Figura 12.

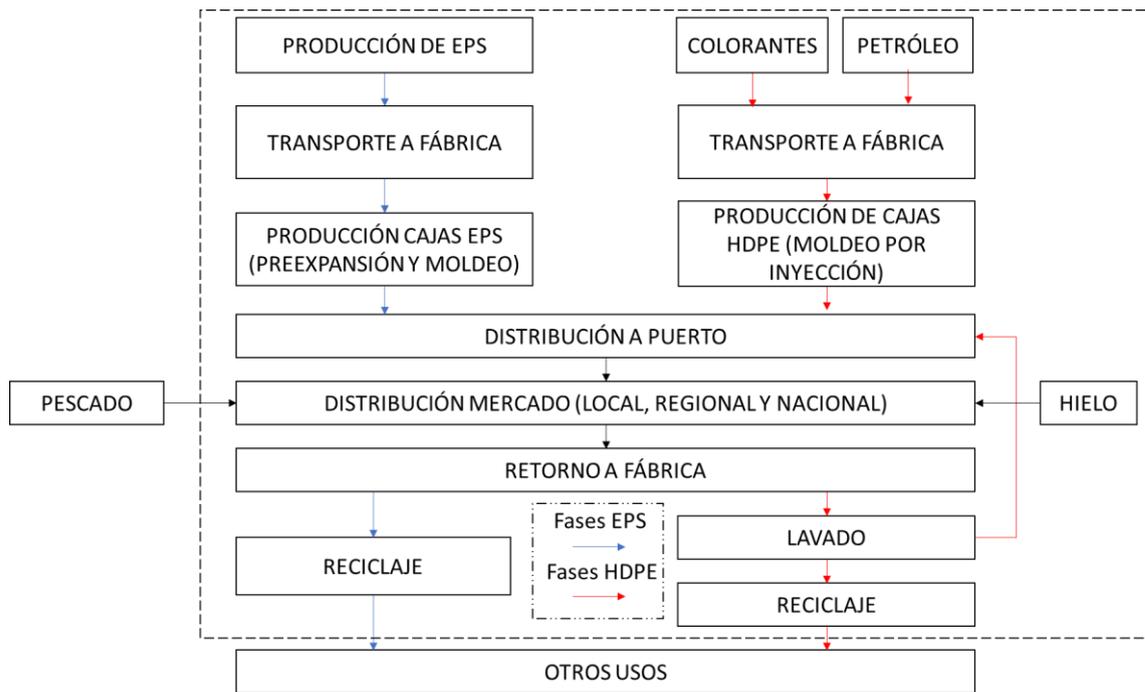


Figura 12. Diferenciación del ciclo de vida de las cajas EPS y HDPE, la línea discontinua separa los elementos y procesos que están incluidos en el estudio de los que están excluidos.

### 2.1.2.1 Producción

Comenzando por la producción, en este estudio hay una diferenciación entre las cajas, ya que no son del mismo material y el EPS y el HDPE necesitan de diferentes etapas y condiciones.

- Cajas de EPS de un solo uso: tienen como materia prima perlas de poliestireno expandible que provienen de mercados internacionales. El estireno monómero contiene en su interior un agente expansor homogéneamente distribuido que permite su expansión durante el proceso de transformación, el pentano. El estireno sufre un proceso de polimerización en un reactor con agua equipado con mecanismos agitadores que producen la división del estireno en pequeñas gotas suspendidas en el agua, dando lugar al poliestireno expandible. Estas perlas, que la empresa que fabrica las cajas adquiere, requieren una etapa de preexpansión en la que la materia prima se calienta en los preexpansores, mediante vapor de agua, con temperaturas de 80°C a 110°C. Con este calentamiento la densidad disminuye desde los 630 kg/m<sup>3</sup> a 10-30 kg/m<sup>3</sup>. Estas perlas en comparación con las de materia prima han aumentado su tamaño y contienen aire en su interior.

Tras este proceso, las perlas se depositan en silos en los cuales se secan y se enfrían, esto produce un vacío en su interior que se compensa con aire por difusión con lo que se mejoran sus capacidades mecánicas y mejoran su capacidad de expansión. Con esta estabilización mecánica, las perlas están preparadas para darles forma, mediante moldes con vapor de agua en donde las perlas van a conformar los modelos de envase soldándose entre sí. Estas cajas

isotérmicas conservan el frío y aíslan sus productos del calor, los protegen de los golpes e impactos gracias a su gran resistencia y durabilidad, siendo la solución ideal para el envasado y transporte de pescado, mariscos, productos frescos en general, congelados y productos farmacéuticos que requieran protección de las condiciones externas. La fábrica en la que se realizan estas labores y las de reciclaje se encuentra cerca de A Coruña.

- Cajas de HDPE reutilizables: la obtención del HDPE se hace mediante un proceso de polimerización Ziegler-Natta, que es un proceso de polimerización catalítica (catalizador de Ziegler-Natta). Hay tres procesos comerciales importantes usados en la polimerización del HDPE: los procesos en disolución, en suspensión y en fase gaseosa (Heras y Mantuano, 2016). Con el HDPE se lleva a cabo un moldeo por inyección que es uno de los métodos más utilizados, ya que es habitual en los termoplásticos debido a que, con el calor, la fricción y el tiempo se puede transformar. Esta técnica consiste en someter el HDPE a temperatura muy altas y fundirlo para inyectarlo en un molde y darle la forma deseada, es un método ideal para grandes producciones por su rapidez y calidad. Se pueden distinguir varias etapas: (i) un sellado o cierre del molde, (ii) la inyección, primero llenando el molde y segundo manteniéndolo para que se enfríe este termoplástico y se plastifique, (iii) el molde se abre y se retira la pieza. Este es un método muy eficiente ya que casi no se generan residuos, siendo despreciables, ya que si quedan restos en el molde estos se pueden volver a fundir. El lugar donde ocurre el proceso es en Lugo donde también se hacen labores de reacondicionamiento.

#### 2.1.2.2 Distribución y uso

Las cajas son ahora transportadas mediante camiones al puerto de Vigo envueltas en film para una distribución ordenada. En el caso de las cajas de HDPE van ordenadas en pallets además del film para una colocación más ordenada al ser cajas más pesadas. Una vez allí, se intercambian estas cajas nuevas por las ya utilizadas que retornan a la fábrica. Las cajas nuevas que se han recibido se llenan con hielo y pescado, según las capacidades de cada caja, y se transportan a tres puntos de distribución.

1. **Distribución nacional:** el producto se dirige a Mercamadrid con una ruta de 610 km siguiendo la ruta de la Figura 13.

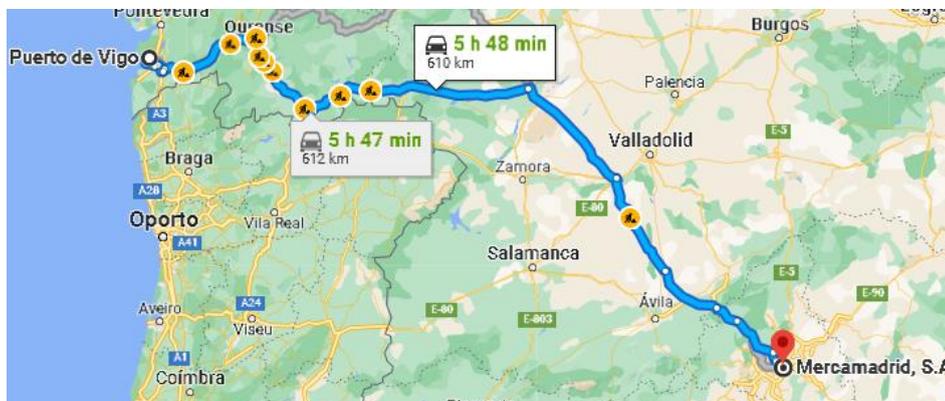


Figura 13. Ruta nacional Puerto de Vigo - Mercamadrid

2. **Distribución regional:** los destinos son el mercado municipal de Pontevedra y el mercado de Abastos de Santiago de Compostela con una ruta de 94,4 km, se representa en la Figura 14.

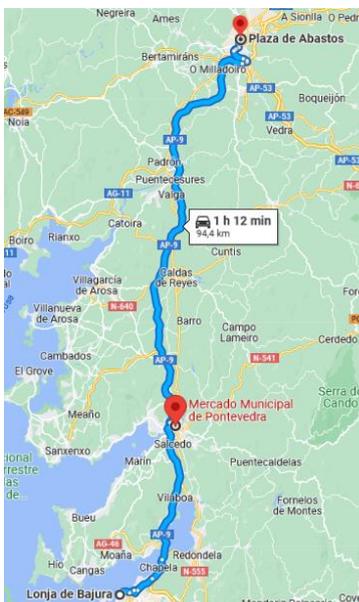


Figura 14. Ruta regional Puerto de Vigo-Mercado municipal de Pontevedra - Mercado de Abastos de Santiago de Compostela

3. **Distribución local:** los barcos descargan en las mediaciones a la lonja por lo que el desplazamiento es de unos pocos metros y se ha considerado despreciable. Además, de la lonja también se reparte en los mercados importantes de Vigo, los cuales son la Plaza de Abastos de Bouzas, el mercado das Travesas, el mercado O Calvario, el mercado do Progreso, el mercado del Berbés y el mercado de Teis, conformando una ruta de reparto de 19,7 km. La ruta con todas sus paradas se presenta en la Figura 15.

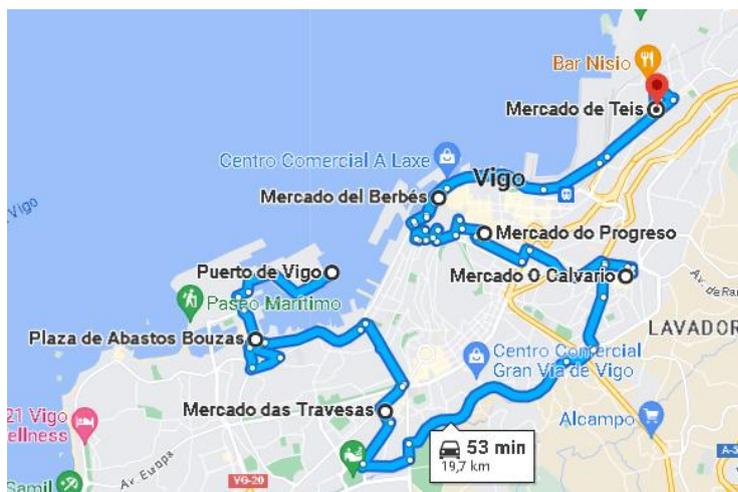


Figura 15. Ruta local Puerto de Vigo-Mercado municipal de Pontevedra - Mercado de abastos de Santiago de Compostela

Cuando se completan las rutas de estos tres escenarios los camiones vuelven con las cajas al puerto de Vigo para intercambiar las cajas con otras que sean nuevas o que estén lavadas, en función del tipo de caja.

### 2.1.2.3 Fin de vida

Las cajas HDPE son reutilizables, por lo que cuando vuelven a la fábrica tienen un proceso de lavado para conseguir unas condiciones higiénicas que permitan poder volver a transportar un alimento. Esto se consigue con un túnel de lavado que funciona durante 12 horas al día y tiene una potencia de 110 kWh junto con un detergente. En el caso de que la caja esté rota, o ya haya cumplido sus ciclos de uso, seguirá el mismo proceso que una caja EPS de un solo uso. Las cajas se introducen en la compactadora, que las tritura y las compacta. Estas se dirigirán a otros procesos sin producir residuos: las cajas EPS se destinan a productos de poliestireno como la construcción, obra, embalajes o aligeramientos en ingeniería civil, mientras que las HDPE se reutilizan para fabricar diferentes subproductos para los grupos plásticos.

### 2.1.3 Hipótesis y asignaciones de estudio

Ante la falta de datos en algunas partes del proceso, se han tenido que establecer ciertas hipótesis para poder continuar con el modelado del proceso:

- El proceso de producción de las cajas EPS y HDPE se considera como una caja negra, ya que no se tienen de forma específica los flujos de entrada y salida en cada una de sus etapas.
- El peso de los pallets se ha establecido como 8 kg siguiendo las características de un pallet reciclado de 1.200x800 mm.
- El escenario de distribución local es muy próximo a la lonja de Vigo, siendo la distancia unos pocos metros y por ello la ruta se ha considerado despreciable.
- Para la simulación del proceso de reciclado de ambas, se han tomado como productos evitados la producción del mismo material por su proceso convencional y se ha considerado una sustitución del material de 1 a 1 en las labores para las que se reciclan los materiales utilizados en este proceso.
- Para modelar la producción de hielo se ha considerado un consumo de energía de 630 MJ/tonelada según las indicaciones de las autoridades portuarias gallegas (Ceballos y cols., 2023).
- El fabricante de las cajas HDPE indicó que aproximadamente el 50% de las 250.000 cajas que fabrican pertenecen a las cajas de estudio. Como hay varios productos se aplica una asignación en los consumos que se dan como mensuales, que son los correspondientes a la fase de lavado como el agua, electricidad y detergente, también se han supuesto que son el 50%.
- Los datos de film utilizados por caja se tomaron de la bibliografía Abejón y cols.,

(2020) en su modelado del ciclo de vida de las cajas de plástico. Para una medición más exacta se comprobaron los datos con pallets de 18 envases de EPS en 3 grupos de 6: cada grupo de 6 envuelto en film y a su vez flejados en film de embalaje los tres grupos de cajas. Con unos pesos de 0,42 kg y 0,44 kg de film para cada pallet, de lo que se hizo la media.

- Para las máquinas de reciclaje tipo (las compactadoras) de las cajas HDPE, las potencias oscilan entre 110-120 kW/h con capacidad de 1.000 kg/h de plástico y los 260-300 kW/h para 3.000 kg/h. Se ha establecido una media entre las dos máquinas para calcular los consumos de electricidad por caja.

#### **2.1.4 Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad es un procedimiento sistemático para estimar los efectos sobre el resultado de un estudio de las opciones elegidas en lo que respecta a métodos y datos (ISO, 2006a). En este trabajo se ha analizado la influencia del porcentaje de caja de HDPE que vuelven a la fábrica para ser lavadas.

- Los fabricantes indicaron que el 20% de las cajas se lavaban en la fábrica y el 80% en puerto. Como este no es un valor exacto, se hizo un estudio de la influencia de esta variable con los dos casos extremos. El primer caso es que todo el lavado se produzca en el puerto (100% lavado en puerto) mediante la construcción de una estación de lavado en el puerto. El segundo caso sería que todas las cajas volvieran a la fábrica para ser tratadas en el túnel de lavado (100% lavado en fábrica).
- Desde un principio se modelaron tres casos, por los distintos repartos de pescado que se llevan a cabo en esta parte de Galicia, teniendo un reparto a nivel local, a nivel regional y, por último, a nivel nacional (Madrid), por lo que con la variación de la distancia se ha establecido en qué situaciones son mejores las cajas y a partir de qué kilometraje se produce este cambio.

## **2.2 ANÁLISIS DE INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA**

Los datos primarios han sido aportados por dos empresas a través de un cuestionario sobre el cual han rellenado las etapas sobre el diagrama de flujo, así como los materiales y cantidades necesarios para llevar a cabo todas sus actividades. Los datos secundarios han sido sacados tanto de bibliografía con el artículo de Abejón y cols., (2020), como de las bases de datos de Ecoinvent (Frischknecht y cols., 2007) y también se han tenido que hacer asignaciones según la escasez de datos como para elaboración de las rutas óptimas para los camiones de distribución en las diferentes etapas del proceso.

La Tabla 5 recoge los datos de inventario para la producción, distribución a puerto, a mercados, el retorno a la fábrica para el reciclaje y el propio proceso de reciclado que recircula el material de las cajas para conformar mobiliario urbano o pantalanés en los puertos. El inventario se recoge teniendo los datos según una unidad de caja de EPS.

Tabla 5. Inventario de una caja EPS

<b>Caja EPS (Un solo uso)</b>			
Elemento	Cantidades	Unidad	
<b>Producción</b>			
EPS	$3 \cdot 10^{-3}$	kg/caja	
Transporte EPS	4.000	km	
	12	kg*km	
Electricidad	0,11	kWh/caja	
Vapor agua	$2,2 \cdot 10^{-3}$	L	
<b>Distribución a puerto</b>			
EPS (Caja)	0,203	kg/caja	
Bolsa de plástico	$6,13 \cdot 10^{-3}$	kg/caja	
Transporte caja	145	km	
	30,32	kg*km	
<b>Distribución a mercados</b>			
Consumo de hielo de refrigeración	1,6	kg	
Distribución	Local	19,7	km
	Regional	94,4	km
	Nacional	610	km
<b>Distribución retorno a reciclaje</b>			
Transporte caja con bolsa de plástico	145	kg	
	30,32	kg*km	
<b>Reciclaje</b>			
Electricidad compactadora	$2 \cdot 10^{-3}$	kWh/caja	

En la Tabla 6 se ha elaborado el inventario del otro tipo de caja estudiada, la caja HDPE. Las etapas de producción, distribución a puerto, a mercados y el retorno a la fábrica son similares al de la caja HDPE (excepto las materias primas utilizadas en el proceso de producción de la otra caja), donde se encuentra la diferencia es en el fin de vida. La caja HDPE es reciclable, por lo que sustituye el fin de vida por una etapa de reacondicionamiento en la que se realiza el lavado y el reciclaje se realiza cuando la caja se rompe o no puede cumplir sus funciones por un mal estado de esta. Estos restos se utilizan para la fabricación de subproductos para otro grupo de plásticos.

Tabla 6. Inventario de una caja HDPE

<b>Caja HDPE (Reciclable)</b>			
Elemento		Cantidades	Unidad
<b>Producción</b>			
Petróleo (98%)		1,18	kg/caja
Colorantes (2%)		$2,4 \cdot 10^{-2}$	kg/caja
Transporte materias primas: colorantes y petróleo		500	km
		600	kg*km
Electricidad proceso de inyección		0,31	kWh/caja
<b>Distribución a puerto</b>			
Film		$2,4 \cdot 10^{-2}$	kg/caja
Pallet		$2,6 \cdot 10^{-2}$	kg/caja
Transporte caja		215	km
		258	kg*km
<b>Distribución a mercados</b>			
Consumo de hielo de refrigeración		2	kg
Distribución	Local	19,7	km
	Regional	94,4	km
	Nacional	610	km
<b>Distribución retorno a reacondicionamiento</b>			
Transporte caja		215	km
		258	kg*km
Agua para túneles de lavado		1,2	L/caja
Electricidad		0,30	kWh/caja
Detergente		$1 \cdot 10^{-3}$	kg/caja
Transporte detergente		3.000	km
		3	kg*km
<b>Reciclaje</b>			
Electricidad compactadora		0,125	kWh/caja

### 2.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA

La evaluación de impacto de ciclo de vida dentro de un ACV tiene el objetivo de evaluar como de significativos son los impactos ambientales potenciales utilizando los datos del inventario anteriormente desarrollados. Estos datos se asocian con las categorías de impacto ambiental específicas y con los indicadores para entender los impactos (ISO, 2006).

En este trabajo se van a evaluar las categorías de impacto más representativas para el proceso estudiado, donde el método aplicado es EF 3.0 Method, en el cual se evaluaron las categorías de impacto siguientes: Cambio Climático (CC), uso de recursos fósiles (RU), uso del agua (WU), eutrofización marina (EM), eutrofización de agua dulce (EF) y acidificación (AC). El software utilizado es Simapro, donde se han introducido los datos obtenidos del inventario y se ha elaborado un modelo de los sistemas y de las modificaciones aplicadas a los análisis de sensibilidad. Este es un software de ACV que

proporciona la información que necesita para tomar mejores decisiones, potenciar mejores elecciones y reducir las huellas ambientales de los productos y servicios (Simapro, 2023). También en este software se han introducido modificaciones para realizar un análisis de sensibilidad variando ciertas características para mostrar los modelos óptimos con el enfoque del ACV.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 CASO BASE DE ESTUDIO

Gracias a los datos de inventario conseguidos y a su organización se puede hacer un análisis de los sistemas de las cajas HDPE y cajas EPS para poder destacar los cuellos de botella del proceso, entender por qué se producen y como se pueden llegar a mejorar ambientalmente. Se estudian ambas cajas y sus distribuciones más comunes. La selección de los escenarios de distribución se debe a los repartos reales que se llevan a cabo con los productos del puerto de Vigo. El caso base de estudio es el que se aproxima más a un caso real, donde el 20% de las cajas HDPE se vuelven a fábrica para lavar y el 80% restante se lavan en el propio puerto.

En primera instancia para comparar los tres tipos de reparto que se llevan a cabo (distribución local, regional y nacional), se ha utilizado el indicador de CC muy representativo del proceso. Se muestra en la Figura 16, que representa claramente el gran impacto que tiene el transporte en este proceso, liderado por la distribución a los distintos mercados.

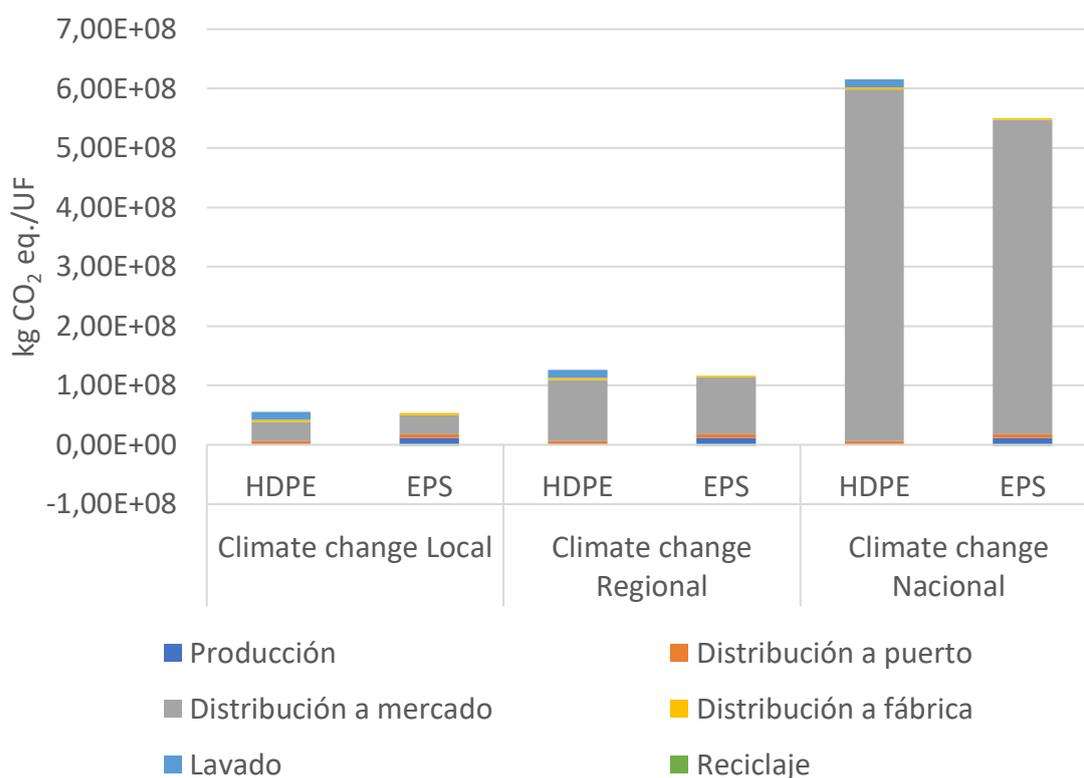


Figura 16. Indicador de Cambio climático para los diferentes escenarios de distribución

La gran diferencia entre los escenarios es el kilometraje que tienen que recorrer los camiones siendo la distancia de 19,7 km en la distribución local, 94,4 km en la regional y 610 km en la nacional, cada caja de HDPE cargada supone 13,2 kg y la de EPS 8,2 kg, lo que hace que la unidad  $\text{kg} \cdot \text{km}$  varíe notablemente. Los resultados de las cajas HDPE son peores debido principalmente a su peso, cada caja pesa 1,2 kg y puede transportar 10 kg de pescado, mientras que las cajas EPS al estar rellenas de aire tienen un peso mucho

menor, de 0,203 kg, que puede transportar 6,4 kg de pescado. Es una gran diferencia de peso que perjudica a las cajas HDPE reutilizables y la diferencia es mayor según aumenta la distancia del transporte. Al igual que en el caso de estudio de las cajas de pescado elaborado por PwC (2011) donde las alternativas eran EPS, HDPE y cartón corrugado, se puede identificar como parámetro clave el peso. Otros apartados del proceso no son tan significativos, pero se estudiarán en los demás indicadores.

Se podría sacar como conclusión que las cajas de HDPE se podrían utilizar en viajes cortos como los escenarios local y regional donde las diferencias con las cajas de EPS de un solo uso no son notorias y se podría llevar a cabo esta renovación que se legisla en las Directivas europeas. En el caso del transporte nacional, la diferencia es mayor y todavía no se podrían llegar a sustituir las cajas.

Para entrar más en detalle, se ha llevado a cabo un estudio de las diferentes distribuciones que enseñará como influyen todas las partes de los procesos en los distintos indicadores elegidos.

El resultado de las cajas HDPE reutilizables concuerda con el estudio de Abejón y cols., (2020), en el cual se comparan cajas de plástico reutilizables para el transporte de fruta que indica que el principal impacto proviene de la vida útil de las cajas y en un segundo plano queda la producción.

En el caso de los plásticos de un solo uso, el EPS fue estudiado por LCA Consulting Oy y Storaenso Oyj (2018), se destacaba la producción de envases como principal fuente de emisiones, que incluye la producción de materias primas y la formación de envases.

En estos dos estudios se compararon las cajas de HDPE y las de EPS con las cajas de cartón corrugado y en ningún caso se consiguió destacar una solución preferible. Por último, hay que destacar el artículo de Koskela y cols., (2014) en el que se identifica como un elemento muy importante el transporte.

### **3.1.1 Distribución local**

En este tipo de distribución los productos son llevados a los mercados más importantes de la ciudad de Vigo, además de la lonja, marcando así una distancia de 19,7 km de recorrido. Este es el reparto más cercano por lo que el impacto del transporte es el más bajo, lo que dejaría analizar la importancia de las demás partes del proceso.

Según la Figura 17, se muestra el reparto de impactos para los indicadores de CC, WU, RU, AC, EF y EM. Viendo los impactos, las cajas de HDPE son ligeramente más perjudiciales con un 5% de diferencia con los impactos de las cajas de EPS, excepto en los casos de AC y EF que los impactos son idénticos. Se puede observar que, aunque el recorrido sea el más bajo de todos, la distribución a mercados sigue siendo el mayor impacto en todos los indicadores con entre el 51% y el 75% de las emisiones. Esto se debe al peso que transportan los camiones que incluye las propias cajas, el hielo y el pescado. En segundo lugar, se puede encontrar una diferenciación para las cajas, en el caso de las HDPE es el lavado, esto es por sus consumos de electricidad en los túneles de lavado, que necesitan de potencias elevadas (110 kWh) para la limpieza y

desinfección. Para el caso de las EPS es la producción, en este caso no hay lavado y además como las cajas son de un solo uso se necesita de un muy elevado número de cajas en comparación con las cajas HDPE reutilizables. Dentro de la producción de las cajas de EPS, el impacto proviene de la electricidad necesaria para el proceso de inyección, el poliestireno no es tan importante ya que solo contiene un 2% de la caja en peso, siendo el 98% aire. En tercer lugar, vuelve a coincidir que para las dos cajas es la distribución a puerto con un 10% del impacto en todos los indicadores, es mayor que la distribución a fábrica, ya que cuando las cajas se dirigen a puerto para comenzar el ciclo van envueltas en film y colocadas en pallets. En último lugar, se tienen la distribución a fábrica una vez se han usado las cajas para lavar o reciclar y el propio reciclaje que tienen menos del 5% del impacto. El impacto del reciclaje es mínimo en el caso de las cajas HDPE, ya que al ser reutilizables se usan un menor número de cajas.

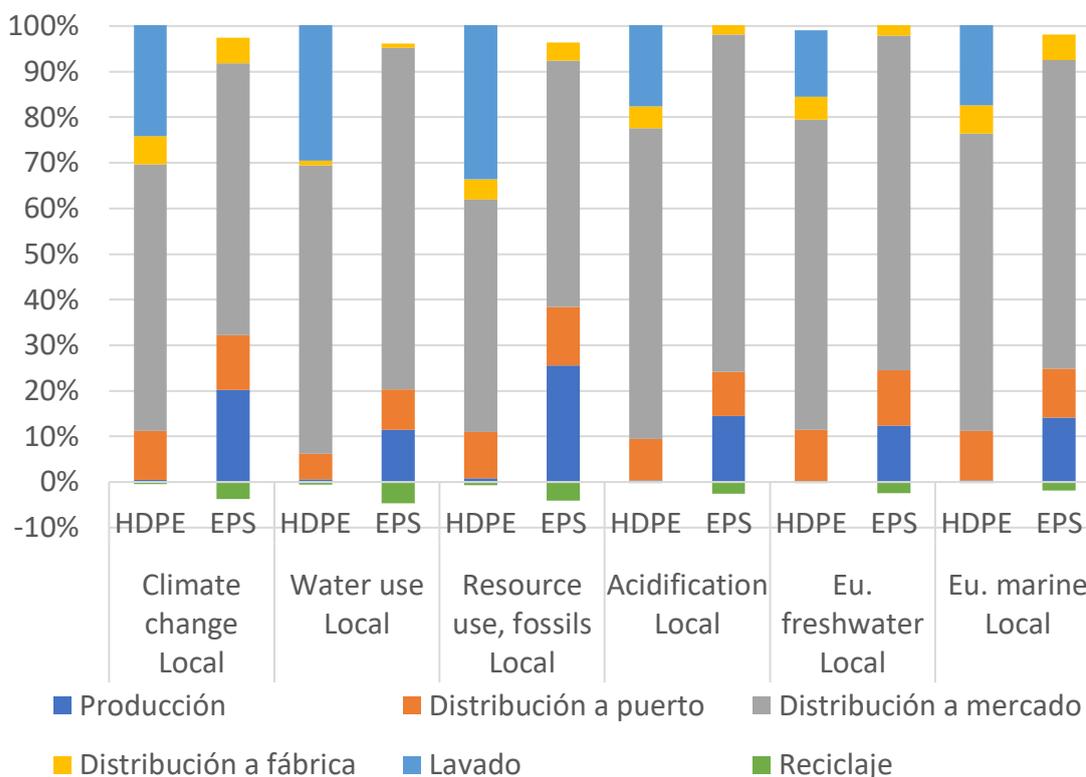


Figura 17. Indicadores para distribución local

Los resultados de cada una de las etapas para cada uno de los indicadores se encuentran en el Anexo en la Tabla A1.

### 3.1.2 Distribución regional

La ruta de distribución regional es el reparto a los mercados municipales de Pontevedra y de Abastos de Santiago de Compostela conformando una ruta de 94,4 km. Es el transporte de media distancia en este estudio.

Según la Figura 18, la diferencia entre los impactos de las cajas aumenta siendo las cajas HDPE las perjudicadas, esto se debe a que cada caja pesa 6 veces más que las EPS y solo es capaz de transportar algo más de un 30% de pescado. Esto va a producir que el principal impacto, la distribución a mercados crezca en mayor proporción en el caso de

las cajas HDPE. Esta distribución representa entre el 70% y el 85% de los impactos totales, una gran cantidad siendo un transporte de menos de 100 km de distancia con el camión cargado. Las demás partes del proceso continúan en el mismo orden, ya que solo varía la distancia de recorrido de los camiones en reparto, que produce que los porcentajes de los demás apartados disminuya aún más siendo, en segundo lugar, para las HDPE, el lavado entre un 7% al 25% y para EPS la producción desde el 6% al 13%. En tercer lugar, la distribución a puerto representa entre el 5% y el 7% de los impactos. Por último, la distribución a fábrica presenta una contribución del 2% y el reciclaje evita desde el 1% al 4% de las emisiones al reutilizar el EPS y el HDPE en los grupos plásticos y en edificación.

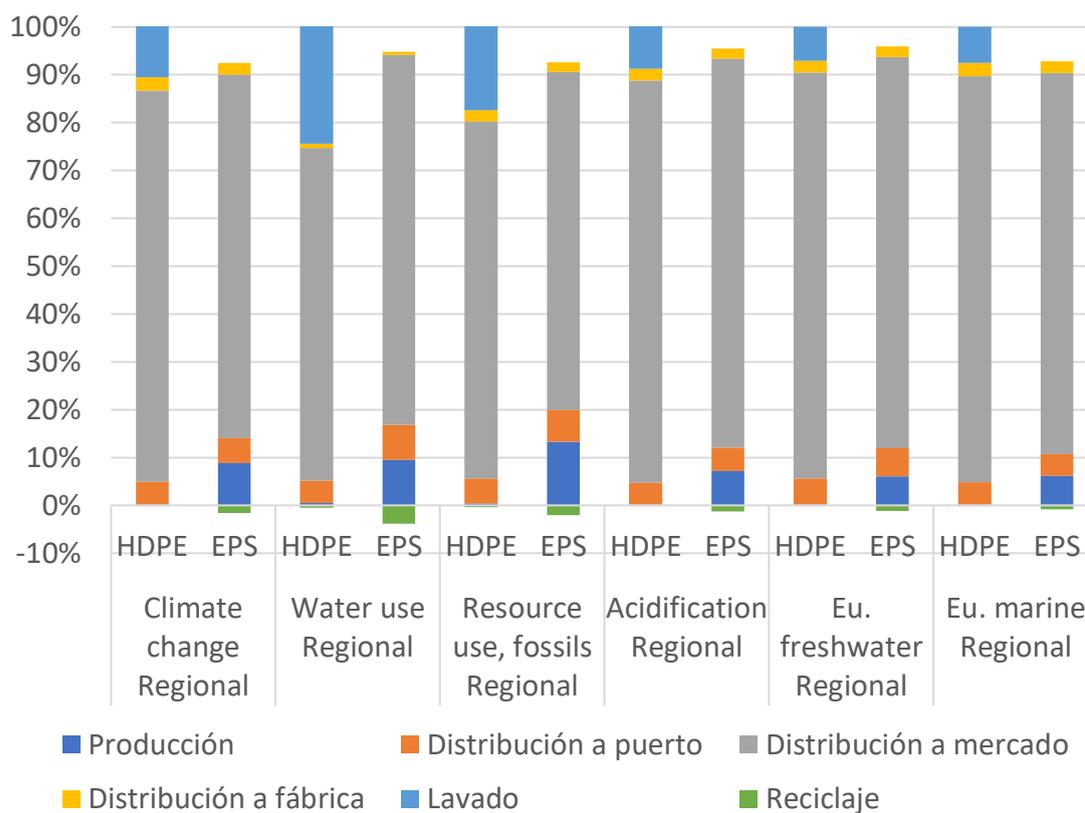


Figura 18. Indicadores para distribución regional

En este caso en algunos indicadores como el CC, WU, EU y EM tienen una diferencia de hasta el 9% del impacto, siendo ya una parte importante que se evita con las cajas EPS de un solo uso, por lo que en este caso al ser mayor la diferencia se recomendaría el uso de estas.

Los resultados se reflejan en el Anexo en la Tabla A2, con los resultados para cada indicador en cada una de las etapas del proceso.

### 3.1.3 Distribución nacional

El último reparto estudiado es el nacional que se lleva a cabo en Mercamadrid con una distancia de 610 km muy superior al regional. Es la distancia más larga del caso de estudio.

Siguiendo la dinámica de las anteriores distribuciones, el dominio de la distribución a mercados es total, como se puede observar en la Figura 19. Este reparto abarca más del 85% de los impactos en todos los indicadores. En el indicador de WU el lavado sigue destacando ligeramente con algo más del 10% de los impactos por los consumos en la limpieza y desinfección de los túneles de lavado. Las etapas de producción, distribución a puerto o reciclaje no llegan a superar el 5% de los impactos debido a este gran crecimiento de las emisiones por parte de la distribución a mercado.

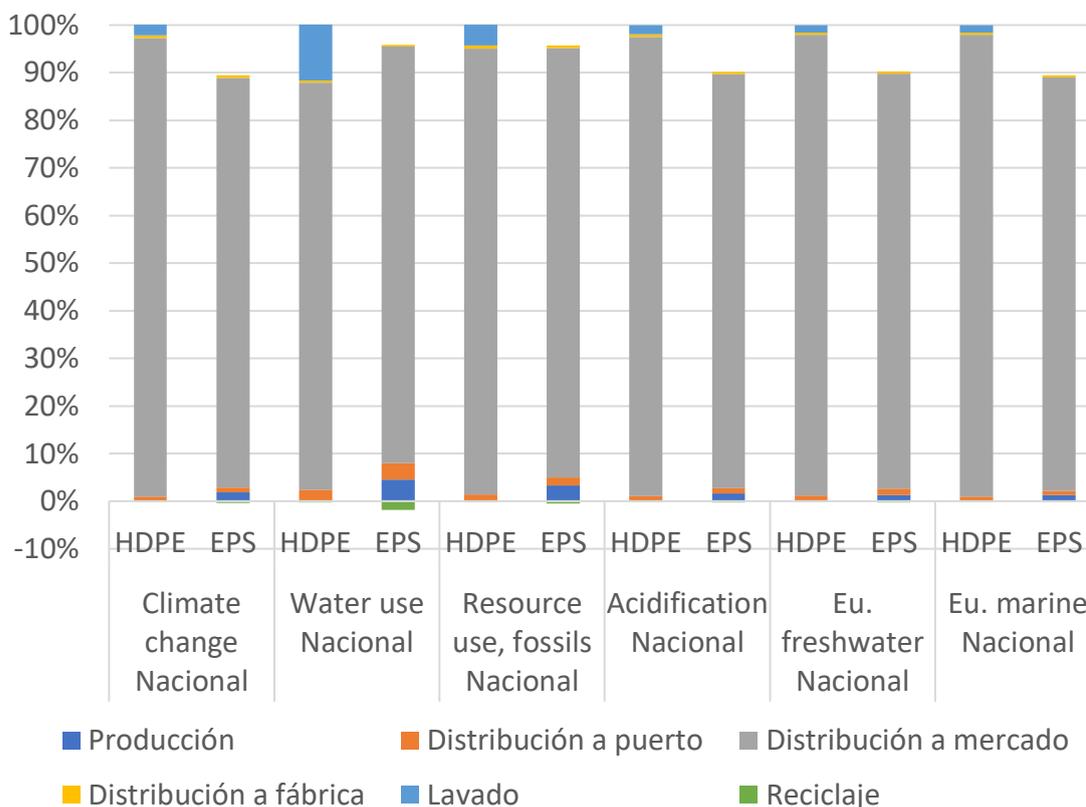


Figura 19. Indicadores para distribución nacional

Se puede comprobar con este análisis de distancias de reparto de la importancia de la optimización de las rutas, ya que una diferencia de unos kilómetros puede producir grandes diferencias a la larga, aparte de afectar al apartado económico por los consumos bastante importantes que tienen estos camiones de reparto, 30-40 l/100 km.

Los resultados se presentan desglosados en la Tabla A3 del Anexo, con los resultados para cada indicador en cada una de las etapas del proceso.

### 3.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON EL LUGAR DE LAVADO

El dato que se tiene como principal caso de estudio para las cajas HDPE es un lavado del 20% de las cajas en la fábrica, mientras que el 80% se lleva a cabo en el puerto evitándose ese transporte hasta la fábrica y la nueva vuelta con las cajas lavadas, lo cual sería menos productivo. Los resultados de los estudios anteriores dan valores muy cercanos para ambas cajas y podría darse el caso de que las cajas lavadas en puerto sean ambientalmente mejores que las EPS, por lo que para estudiar la influencia de este proceso se han llevado dos casos al extremo: el primero, cuál sería el impacto si las

empresas que utilizan las cajas las devolvieran usadas y no se encargaran de su limpieza, lo que llevaría a limpiar todo en la fábrica que se encuentra a 215 km de puerto. El segundo caso a estudio sería suponer que las empresas no devuelven estas cajas hasta que se rompen, evitando este transporte y lavando todas en puerto. Estos dos estudios intentan encontrar datos para optimizar el caso de las cajas reutilizables HDPE que son las que por legislación además se tienen que imponer, las cajas de EPS de un solo uso no tienen posibilidad de optimización, ya que tienen un ciclo de vida establecido.

### 3.2.1 Lavado 100% fábrica

Si todas las cajas de HDPE fueran devueltas al fabricante sin limpiar en el puerto una vez usadas, este tendría que transportarlas a la fábrica, lavarlas y devolverlas al puerto. Es el caso con peores resultados ambientalmente, ya que los viajes son mayores, como se puede comprobar en la Figura 20. Se ha utilizado el indicador de CC, ya que la tendencia en los demás indicadores es la misma. A nivel de los tres repartos, el impacto en las cajas HDPE proviene del transporte casi en su totalidad de las actividades de transporte motivado por esta influencia de lavados que ha producido que la distribución a puerto y a fábrica aumenten. En un plano secundario queda el lavado con un 15% de impacto en el caso local, un 8% en el regional y un 2% en el nacional. El reciclaje y la producción tienen impactos mucho más bajos.

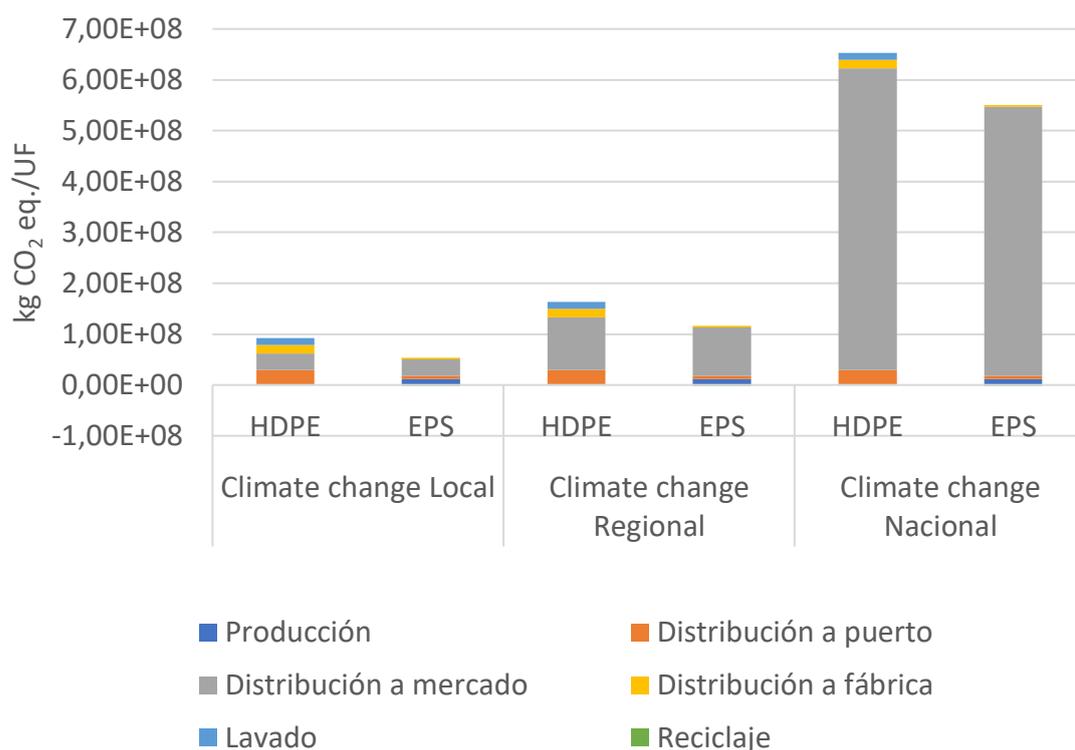


Figura 20. Indicador de Cambio Climático para lavado 100% fábrica

En este caso las cajas EPS de un solo uso son muy superiores ambientalmente con un 40% menos de impacto que las cajas HDPE muy perjudicadas por el transporte.

### 3.2.2 Lavado 100% puerto

El escenario óptimo para las cajas HDPE sería que las cajas se laven en el propio puerto y continúen su ciclo, evitando así los desplazamientos desde la fábrica al puerto y viceversa, excepto en los casos que sea para retirar las cajas que estén rotas o hayan cumplido sus ciclos o para introducir nuevas.

En este caso en la Figura 21 hay un cambio en la tendencia, ya que, en el escenario local las cajas HDPE son mejor ambientalmente gracias a esta optimización en el transporte, que permite aprovechar esta reciclabilidad de las cajas. En el caso regional, las cajas EPS producen un 2% menos de impacto, pero en otros indicadores como AC y EF las HDPE siguen manteniendo la ventaja. Con la distancia las cajas HDPE tienen mayor impacto por su peso, por ello en el caso nacional todos los indicadores son favorables a las EPS.

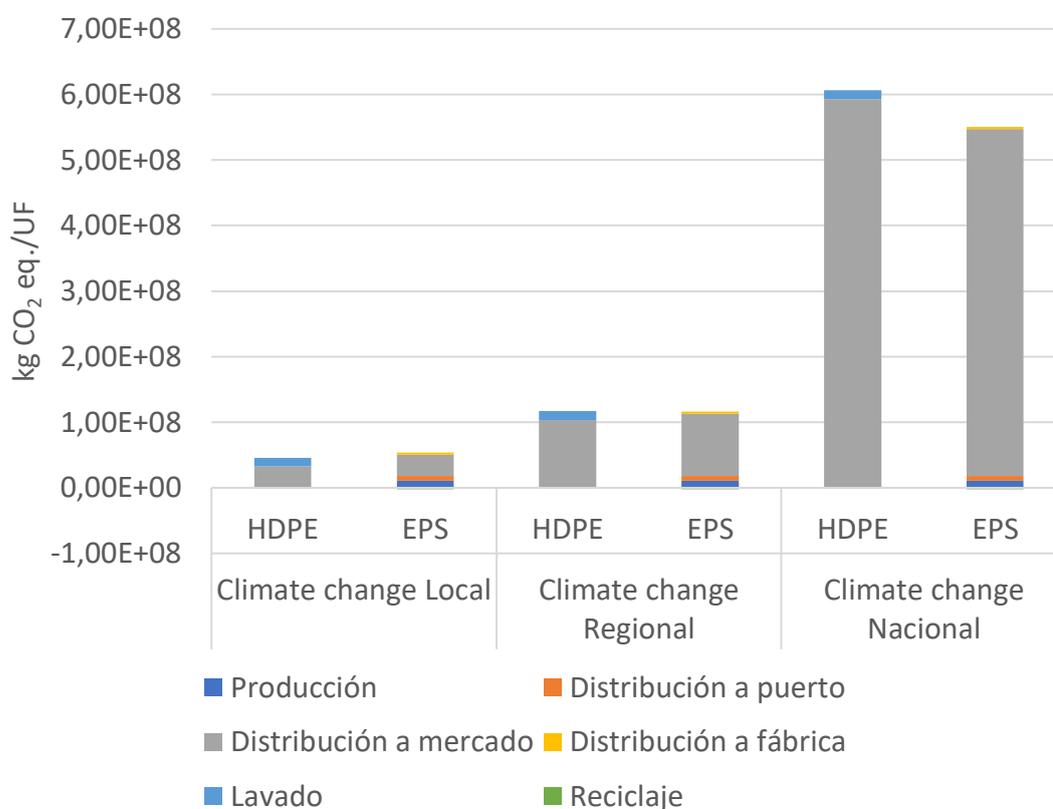


Figura 21. Indicador de Cambio Climático para lavado 100% puerto

En resumen, con el análisis que se ha llevado a cabo en el que con el lavado al 100% en el puerto las cajas HDPE a nivel local y regional son favorables, y en el otro caso, con el 100% lavadas en fábrica las HDPE son muy perjudicadas en favor de las EPS. Esto lleva a indicar que en el caso base en el que había un reparto de lavado del 20% en fábrica, este porcentaje era lo que perjudicaba al total, ya que el 80% restante de las cajas conforman una opción más beneficiosa que las cajas EPS.

### 3.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON LA DISTANCIA DE REPARTO

A raíz de esta conclusión obtenida en el anterior apartado y para establecer una medida con la que optimizar ambientalmente el proceso de reparto y, además adecuar el sistema conforme a esa reforma de sustitución de plásticos, se estudia la influencia de

la distancia para conocer en el caso de optimización del sistema de cajas HDPE (100% lavado en puerto) hasta que distancia de reparto estas cajas son más beneficiosas ambientalmente. La Figura 22 muestra la variación del impacto total por UF de los dos tipos de cajas, se puede observar que, hasta una distancia de unos 75 km, las cajas HDPE son la mejor opción. A partir de esta distancia las cajas EPS serán la mejor opción y la diferencia irá creciendo gradualmente a favor de estas.

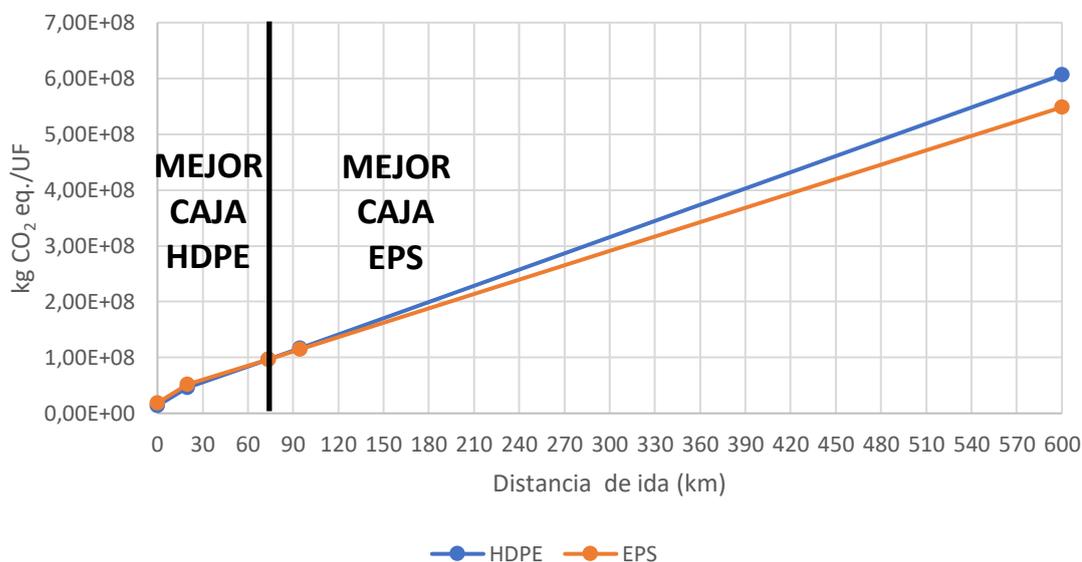


Figura 22. Comparativa del CC con la distancia de ida de los repartos caso 100% lavado en puerto

Para los casos real y de lavado en fábrica también se han graficado las emisiones en relación con las distancias, pero como se comprobó en los escenarios de distribución las cajas EPS obtienen mejores resultados, aunque esta es una forma muy visual para entender la importancia del transporte y su máxima optimización, sobre todo para cajas más pesadas como son las HDPE. Como se puede ver en el extremo con una distribución menos eficaz (100% lavado en fábrica) la diferencia es amplia incluso con escasos kilómetros. La Figura 23 muestra de la importancia del transporte y de su optimización para las cajas HDPE en las cuales, al tener 1.260 usos disponibles, una pequeña diferencia de kilometraje en cada trayecto lleva a una gran diferencia de emisiones a la larga.

Con esta comprobación se puede determinar que para distancias a nivel local e incluso algunas regionales por debajo de estos 75 km de ida la mejor opción es el uso de cajas HDPE reutilizables, lavando estas en los túneles de lavado del propio puerto. Con una disminución del peso de las cajas de HDPE esta distancia conseguiría aumentarse y así lograr beneficios en el cambio de cajas por la legislación, también otra parte por la que se puede optimizar el proceso sería en el lavado de las cajas, cuya potencia es elevada y produce unos consumos mensuales de unos 30.000 kW/mes. Todos los cambios que se lleven a cabo en producción o en reciclaje no afectaran a este resultado de una forma visible, ya que, su impacto es muy pequeño en comparación con otras partes del proceso como el transporte (70-88 %) o el lavado (12-30%) (estos porcentajes varían en función de la distancia y están establecidos con los datos de distribución local y regional).

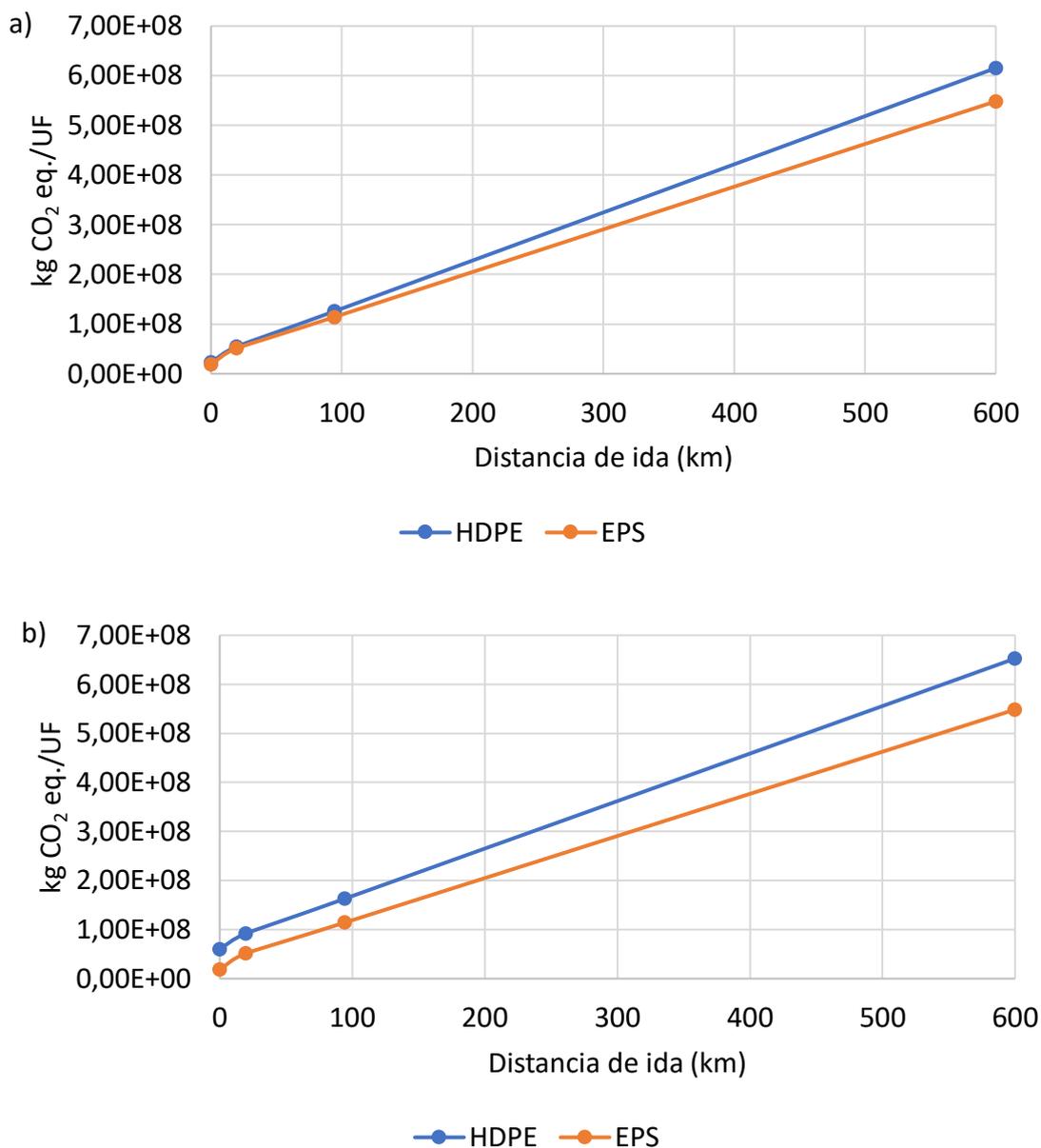


Figura 23. Comparativa del CC con la distancia de ida de los repartos a) caso base b) caso 100% lavado en fábrica

### 3.4 MEJOR OPCIÓN PARA CADA CASO DE ESTUDIO

Como resumen del caso base de estudio y los análisis de sensibilidad se han recogido todos los resultados en la Tabla 7, en la cual se ha establecido un porcentaje del 10% de impactos como una diferencia significativa que permita decidir entre las dos opciones que se presentan, las cajas HDPE reutilizables y las cajas EPS de un solo uso.

Como se puede comprobar, con un lavado de las cajas HDPE en fábrica la mejor opción son las cajas EPS en cualquier distancia e indicador, ya que este tratamiento genera un gran cúmulo de viajes. En el caso de estudio base, se tiene una mayor alternancia de resultados, siendo ambas cajas para los casos local y regional opciones similares para todos los indicadores, menos en los casos de larga distancia como el nacional donde se vuelve a ver que las cajas EPS son mejor opción. Por último, el caso de lavado en puerto

muestra la mejora de la optimización del transporte y para el caso local las cajas HDPE se establecen claramente como mejor opción. Para la media y la larga distancia no se establece una opción con una diferencia clara.

Tabla 7. Resumen del análisis de sensibilidad y las mejores opciones correspondientes en cada caso.

		CATEGORÍA DE IMPACTOS					
		CC	WU	RU	AC	EF	EM
Lavado 100% Fábrica	Local						
	Regional						
	Nacional						
Lavado Base (20% Fábrica)	Local						
	Regional						
	Nacional						
Lavado 100% Puerto	Local						
	Regional						
	Nacional						

Mejor opción EPS(>10%)	
Mejor opción HDPE (>10%)	
Opciones similares (<=10%)	

## 4. CONCLUSIONES

Este trabajo proporciona un amplio estudio de Análisis de Ciclo de Vida del empaquetado usado en las labores de transporte de pescado fresco desde el puerto de Vigo a sus puntos de distribución habituales, distribución local (mercados de Vigo), regional (Pontevedra y Santiago de Compostela) y nacional (Mercamadrid). Se estudian dos alternativas, las cajas EPS de un solo uso compuestas de poliestireno y las HDPE reutilizables y compuestas por polietileno de alta densidad. El objetivo es establecer qué caja tiene una mejor actuación ambiental, debido a las nuevas normativas de eliminación de plásticos de EPS de un solo uso de la Directiva (UE) 2019/904.

Se han empleado varios indicadores, Cambio Climático, uso de agua, eutrofización marina y de agua dulce, acidificación y uso de recursos fósiles, los cuales han arrojado resultados muy similares. El principal impacto identificado ha sido el transporte, concretamente el llevado a cabo para repartir el pescado a sus destinos locales, regionales y nacionales, es decir, desde el puerto a los puntos de venta y su vuelta a puerto teniendo más del 50% de los impactos incluso en el reparto local. Después, las actividades de lavado en las cajas HDPE y la producción de las cajas EPS son el segundo impacto, mientras que, las demás actividades como el transporte de las cajas de la fábrica al puerto y viceversa o el reciclaje tienen un menor impacto.

Para analizar la influencia de varios factores se ha realizado un análisis de sensibilidad. En primer lugar, se ha variado la distribución del lavado de cajas HDPE, el dato del caso base es el 80% lavado en puerto y el 20% lavado en fábrica, y se han evaluado dos casos totalmente contrarios, lavados 100% fábrica y 100% puerto. Para el caso del lavado en la fábrica, el número de viajes aumenta para la limpieza y la distribución de cajas, por ello los resultados de las cajas HDPE son peores, siendo la mejor opción las EPS. La situación contraria se da en el caso del 100% de los lavados en puerto, ya que se optimiza la distribución lo que favorece a las cajas HDPE, teniendo mejores resultados.

Por último, centrándose el estudio en el factor más importante de impacto del proceso, el transporte, se hizo un seguimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas desde los 0 km a los 600 km de ida de los posibles trayectos, demostrando que las cajas HDPE, por su mayor peso, tienen en contra la distancia de transporte. También se encontró que para el caso base y el de lavado 100% en fábrica las cajas EPS tienen mejores resultados ambientalmente, mientras que para el caso que tiene el transporte optimizado como es el caso de lavados en puerto las cajas HDPE salen beneficiadas siendo la mejor opción cuando los transportes son inferiores a 75 km de ida, lo que cubriría los desplazamientos de distribución local y gran parte de los transportes a nivel regional. Para que las cajas HDPE reutilizables se puedan usar en largas distancias será necesario disminuir su peso, mejorar su capacidad en relación con esto o disminuir los consumos de electricidad de los túneles de lavado.

## 5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

### DEFINICIONES

Arqueo: Consiste en la medida volumétrica de los espacios internos del buque.

Pertrechos: Herramientas de pesca flotadores, cuerda, hilo, anzuelos, palangres.

### NOMENCLATURA

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AC	Acidificación (mol H <sup>+</sup> eq.)
CC	Cambio Climático (kg CO <sub>2</sub> eq.)
EF	Eutrofización agua dulce (kg P eq.)
EM	Eutrofización marina (kg N eq.)
IGE	Instituto Galego de Estadística
INE	Instituto Nacional de Estadística
RU	Uso de recursos (MJ)
WU	Uso del agua (m <sup>3</sup> depriv.)

## 6. BIBLIOGRAFIA

Abejón, R., Bala, A., Vazquez-Rowe, I., Aldaco, R., and Fullana-i-Palmer, P. 2020. When plastic packaging should be preferred: Life cycle analysis of packages for fruit and vegetable distribution in the Spanish peninsular market. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104666. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104666>

AENOR. 2006a. UNE-EN ISO 14040:2006: Gestión ambiental: Análisis de ciclo de vida, Principios y Marco de Referencia. Madrid: AENOR.

AENOR. 2006b. UNE-EN ISO 14044:2006: Gestión ambiental: Análisis de ciclo de vida, Requisitos y directrices. Madrid: AENOR.

Akm, A. 2007. Packaging of Fish and Fish Products. [Consulta:20-05-2023]. [https://www.researchgate.net/publication/342232131\\_Packaging\\_of\\_Fish\\_and\\_Fish\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/342232131_Packaging_of_Fish_and_Fish_Products)

Alvira Gómez, M. I. 2007. Los Plásticos como Residuos Antecedentes y Problemática Ambiental. Instituto de Estudios Ambientales (IDEA). [Consulta:26-05-2023]. [https://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines\\_ambientales/boletin57.pdf](https://idea.manizales.unal.edu.co/publicaciones/boletines_ambientales/boletin57.pdf)

ANFACO. 2021. ANFACO-CECOPECA Clúster Mar-Alimentario. Datos 2020. [Consulta:05-09-2023]. <https://anfaco.es/fotos/biblioteca/docs/sector/Datos%20sector%202020.pdf>

APROMAR. 2021. Informe 2021. La acuicultura en España. Consulta [04-09-2023]. <https://apromar.es/wp-content/uploads/2021/12/La-Acuicultura-en-Espana-2021.pdf>

Aranda Usón, J. A. 2006. El análisis del ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial. *FC Editorial*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QHUCoDKAaQsC&oi=fnd&pg=PA27&dq=análisis+de+ciclo+de+vida&ots=2zPeaPkoIC&sig=MPSObglEQD4E5iopym7ysZa0Wnl#v=onepage&q=análisis%20de%20ciclo%20de%20vida&f=false>

ARDAN. 2018. El sector de la pesca en Galicia. Consulta [16-08-2023]. [https://www.ardan.es/ardan/informe2018/CAPITULO\\_11.pdf](https://www.ardan.es/ardan/informe2018/CAPITULO_11.pdf)

Del Hoyo, J. J. G., Toribio, R. J., Ordaz, F. G. 2019. Análisis de las interrelaciones entre la evolución de la flota atunera española y el sector conservero. *Studies of Applied Economics*, 37(3), 81-100. <https://doi.org/10.25115/eea.v37i3.2774>

Directiva (UE) 2019/904 del parlamento europeo y del consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 12 de junio de 2019. [Consulta:14-06-2023]. <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf>

- PwC. 2011. Life Cycle Assessment of the Industrial Use of Expanded Polystyrene Packaging in Europe. [Consulta:24-05-2023].  
[https://www.fishboxes.info/downloads/EUMEPS\\_report\\_PwC\\_112211.pdf](https://www.fishboxes.info/downloads/EUMEPS_report_PwC_112211.pdf)
- FEDEPESCA. 2021. Estudio de los envases en la cadena pesquera: análisis de materiales, uso, composición y gestión. ENVAPES. [Consulta:25-05-2023].  
<https://pescaverde.org/envapes/wp-content/uploads/sites/8/2021/06/estudio-envapes-ok.pdf>
- García-Negro, M., Rodríguez, G., & González, F. 2018. A importancia económica da pesca en Galicia. *Revista Galega de Economía*, 27(3), 35-48.  
<https://revistas.usc.gal/index.php/rge/article/view/5435/11505>
- Heras Heras, M. O. 2016. Fabricación de piezas fundidas de aluminio a partir de modelos colapsables de espuma de poliestireno y espuma de poliuretano. Mantuano Párraga, J. S (dir.). Trabajo fin de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5182/1/15T00640.pdf>
- Instituto de Seguridad e Saúde laboral de Galicia. 2023.Sector pesquero. [Consulta:19-04-2023]. <https://issga.xunta.gal/es/portales-tematicos/sector-pesquero#:~:text=Galicia%2C%20con%20m%C3%A1s%20de%201.500,seg%C3%BAAn%20la%20Conseller%C3%ADa%20del%20Mar>
- Instituto Galego de Estadística (IGE). 2023. Agricultura e Pesca. [Consulta:31-07-2023].  
<https://www.ige.gal/>
- Koskela, S., Dahlbo, H., Judl, J., Korhonen, M. R., & Niininen, M. 2014. Reusable plastic crate or recyclable cardboard box? A comparison of two delivery systems. *Journal of Cleaner Production*, 69, 83-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.045>
- LCA Consulting Oy and Stora Enso Oyj. 2018. Comparative Life Cycle Assessment (LCA) Study of Fish Packages Made of Expanded Polystyrene or Corrugated Board. [Consulta:23-05-2023]. <https://info.storaenso.com/ps/ecofishbox-lca-study>
- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. *Boletín Oficial del Estado*, 9 de abril de 2022. [Consulta:23-06-2023].  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>
- Licciardello, F. 2017. Embalaje, bendición disfrazada. Reseña sobre su diversa contribución a la sostenibilidad alimentaria. *Tendencias Ciencias de la alimentación. Tecnología* 65, 32–39. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.003>
- MAPA. 2006. Libro Blanco de la Pesca. [Consulta: 28-07-2023].  
[https://www.mapa.gob.es/es/pesca/publicaciones/libro\\_blanco\\_tcm30-77136.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/pesca/publicaciones/libro_blanco_tcm30-77136.pdf)
- MAPA. 2020. Contribución del sistema pesquero alimentario a la economía española. [Consulta: 21-08-2023]. <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y->

[prospectiva/aypseriepesca\\_n6vab\\_spa\\_2020\\_tcm30-639532.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-pesqueras/2021_01_peso_valor_conser_dest_tax_tcm30-639532.pdf)

MAPA. 2020. Estadísticas pesqueras. Capturas de buques españoles. Peso vivo y valor, por conservación, destino y grupo principal (taxonómico) de especies. [Consulta: 21-08-2023]. [https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-pesqueras/2021\\_01\\_peso\\_valor\\_conser\\_dest\\_tax\\_tcm30-121994.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-pesqueras/2021_01_peso_valor_conser_dest_tax_tcm30-121994.pdf)

MAPA. 2020. Sector pesquero gallego Puerto de Vigo. [Consulta: 28-07-2023]. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_PI%2FPI\\_2011\\_12\\_4\\_19\\_28.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_PI%2FPI_2011_12_4_19_28.pdf)

Ministerio de Fomento y Puertos del Estado. 2014. Gestión de Actividades Pesqueras (Nivel 1). [Consulta: 01-07-2023]. [https://www.pasaiaport.eus/images/NIVEL1\\_GESTION\\_ACTIVIDADES\\_PESQUERAS.pdf](https://www.pasaiaport.eus/images/NIVEL1_GESTION_ACTIVIDADES_PESQUERAS.pdf)

Plastics Europe. 2022. Plásticos – Situación en 2022. [Consulta: 16-08-2023]. <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/02/PLASTICOS-SITUACION-2022-esp.pdf>

Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solà, J., García Lozano, R., Gasol, C.M. 2014. Eco-Design and Product Carbon Footprint Use in the Packaging Sector. *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors*, Volume 1, 221-245. [https://doi.org/10.1007/978-981-4560-41-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-4560-41-2_9)

Simapro. 2023. LCA software for informed changemakers. [Consulta: 30-05-2023]. <https://simapro.com/>

United Nations. The 17 goals. Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. [Consulta: 15-05-2023]. <https://sdgs.un.org/es/goals>

Wood Mackenzie. 2021. Global Energy Research. Cross-polymer demand: introducing a new demand framework. [Consulta: 02-08-2023]. <https://www.woodmac.com/reports/chemicals-cross-polymer-demand-introducing-a-new-demand-framework-476622/>

Xunta de Galicia. 2019. Hemeroteca. [Consulta: 25-05-2023]. [https://www.xunta.gal/hemeroteca/-/nova/082548/xunta-pone-valor-papel-del-sector-pesquero-gallego-como-pieza-indispensable-economia?langId=es\\_ES](https://www.xunta.gal/hemeroteca/-/nova/082548/xunta-pone-valor-papel-del-sector-pesquero-gallego-como-pieza-indispensable-economia?langId=es_ES)

Xunta de Galicia. 2022. Anuario de Pesca. [Consulta: 23-04-2023]. <https://www.pescadegalicia.gal/Publicaciones/AnuarioPesca2022/indice.html>

Xunta de Galicia. 2023. Lonjas y centros de primera venta. [Consulta: 23-04-2023]. <https://deondesenon.xunta.gal/es/entidades-certificadas/lonjas>

## 7. ANEXO

Tabla A1. Impactos del caso base en la distribución local

<b>DISTRIBUCIÓN LOCAL</b>		<b>Producción</b>	<b>Distribución a puerto</b>	<b>Distribución a mercado</b>	<b>Distribución a fábrica</b>	<b>Lavado</b>	<b>Reciclaje</b>	<b>TOTAL</b>
Climate change	HDPE	2,85E+05	5,89E+06	3,21E+07	3,40E+06	1,35E+07	-2,29E+05	5,50E+07
	EPS	1,11E+07	6,56E+06	3,28E+07	3,03E+06	0,00E+00	-2,08E+06	5,15E+07
Water use Local	HDPE	2,01E+05	1,96E+06	2,20E+07	3,47E+05	1,04E+07	-1,91E+05	3,47E+07
	EPS	3,99E+06	3,06E+06	2,60E+07	3,09E+05	0,00E+00	-1,60E+06	3,18E+07
Resource use, fossils	HDPE	9,18E+06	1,12E+08	5,69E+08	4,94E+07	3,82E+08	-8,34E+06	1,11E+09
	EPS	2,84E+08	1,43E+08	6,01E+08	4,41E+07	0,00E+00	-4,50E+07	1,03E+09
Acidificatio n Local	HDPE	9,98E+02	2,55E+04	1,90E+05	1,35E+04	4,99E+04	-7,42E+02	2,79E+05
	EPS	4,05E+04	2,71E+04	2,06E+05	1,21E+04	0,00E+00	-7,06E+03	2,79E+05
Eu. freshwater	HDPE	4,08E+00	1,63E+02	9,94E+02	7,41E+01	2,13E+02	-2,92E+00	1,45E+03
	EPS	1,80E+02	1,79E+02	1,07E+03	6,61E+01	0,00E+00	-3,63E+01	1,46E+03
Eu. marine Local	HDPE	1,82E+02	5,97E+03	3,56E+04	3,42E+03	9,60E+03	-1,33E+02	5,46E+04
	EPS	7,74E+03	5,80E+03	3,70E+04	3,05E+03	0,00E+00	-1,05E+03	5,26E+04

Tabla A2. Impactos del caso base en la distribución regional

<b>DISTRIBUCIÓN REGIONAL</b>		<b>Producción</b>	<b>Distribución a puerto</b>	<b>Distribución a mercado</b>	<b>Distribución a fábrica</b>	<b>Lavado</b>	<b>Reciclaje</b>	<b>TOTAL</b>
Climate change	HDPE	2,85E+05	5,89E+06	1,03E+08	3,40E+06	1,35E+07	-2,29E+05	1,26E+08
	EPS	1,11E+07	6,56E+06	9,57E+07	3,03E+06	0,00E+00	-2,08E+06	1,14E+08
Water use Regional	HDPE	2,01E+05	1,96E+06	2,92E+07	3,47E+05	1,04E+07	-1,91E+05	4,19E+07
	EPS	3,99E+06	3,06E+06	3,24E+07	3,09E+05	0,00E+00	-1,60E+06	3,82E+07
Resource use, fossils	HDPE	9,18E+06	1,12E+08	1,60E+09	4,94E+07	3,82E+08	-8,34E+06	2,14E+09
	EPS	2,84E+08	1,43E+08	1,51E+09	4,41E+07	0,00E+00	-4,50E+07	1,94E+09
Acidificatio n Regional	HDPE	9,98E+02	2,55E+04	4,72E+05	1,35E+04	4,99E+04	-7,42E+02	5,61E+05
	EPS	4,05E+04	2,71E+04	4,56E+05	1,21E+04	0,00E+00	-7,06E+03	5,29E+05
Eu. freshwater	HDPE	4,08E+00	1,63E+02	2,54E+03	7,41E+01	2,13E+02	-2,92E+00	2,99E+03
	EPS	1,80E+02	1,79E+02	2,44E+03	6,61E+01	0,00E+00	-3,63E+01	2,83E+03
Eu. marine Regional	HDPE	1,82E+02	5,97E+03	1,07E+05	3,42E+03	9,60E+03	-1,33E+02	1,26E+05
	EPS	7,74E+03	5,80E+03	1,00E+05	3,05E+03	0,00E+00	-1,05E+03	1,16E+05

Tabla A3. Impactos del caso base en la distribución nacional

<b>DISTRIBUCIÓN NACIONAL</b>		<b>Producción</b>	<b>Distribución a puerto</b>	<b>Distribución a mercado</b>	<b>Distribución a fábrica</b>	<b>Lavado</b>	<b>Reciclaje</b>	<b>TOTAL</b>
Climate change	HDPE	2,85E+05	5,89E+06	5,93E+08	3,40E+06	1,35E+07	-2,29E+05	6,15E+08
	EPS	1,11E+07	6,56E+06	5,30E+08	3,03E+06	0,00E+00	-2,08E+06	5,48E+08
Water use Regional	HDPE	2,01E+05	1,96E+06	7,49E+07	3,47E+05	1,04E+07	-1,91E+05	8,77E+07
	EPS	3,99E+06	3,06E+06	7,66E+07	3,09E+05	0,00E+00	-1,60E+06	8,24E+07
Resource use, fossils	HDPE	9,18E+06	1,12E+08	8,12E+09	4,94E+07	3,82E+08	-8,34E+06	8,66E+09
	EPS	2,84E+08	1,43E+08	7,82E+09	4,41E+07	0,00E+00	-4,50E+07	8,25E+09
Acidificatio n Regional	HDPE	9,98E+02	2,55E+04	2,42E+06	1,35E+04	4,99E+04	-7,42E+02	2,51E+06
	EPS	4,05E+04	2,71E+04	2,18E+06	1,21E+04	0,00E+00	-7,06E+03	2,25E+06
Eu. freshwater	HDPE	4,08E+00	1,63E+02	1,32E+04	7,41E+01	2,13E+02	-2,92E+00	1,37E+04
	EPS	1,80E+02	1,79E+02	1,19E+04	6,61E+01	0,00E+00	-3,63E+01	1,23E+04
Eu. marine Regional	HDPE	1,82E+02	5,97E+03	6,00E+05	3,42E+03	9,60E+03	-1,33E+02	6,19E+05
	EPS	7,74E+03	5,80E+03	5,37E+05	3,05E+03	0,00E+00	-1,05E+03	5,53E+05