



La huella de carbono de la cadena alimentaria del mejillón en España

Introducción /p.7 **Material y métodos** /p.15 **Resultados** /p.33

Discusión /p.55 **Conclusiones** /p.60 **Glosario** /p.62 **Referencias** /p.65

Pablo Saralegui-Díez^{1,2}, **Sebastián Villasante**^{1,3},
Andrés Ospina-Álvarez^{1,4}, **Montserrat Ramón**⁵, **Eduardo Aguilera**⁶,
Joan Moranta^{1,7}

1. Alimentta, *think tank* para la transición alimentaria. Granada, España.
2. Laboratorio de Historia de los Agroecosistemas (LHA). Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España.
3. CRETUS-Departamento de Economía Aplicada. Campus Vida, Universidad de Santiago de Compostela, A Coruña, España.
4. Institut d'Estudis Avançats (CSIC-UIB IMEDEA). Esporles, España.
5. Institut de Ciències del Mar (ICM, CSIC). Barcelona, España.
6. Instituto de Economía, Geografía y Demografía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España
7. Centre Oceanogràfic de Balears (IEO, CSIC). Grup d'Oceanografia d'Ecosistemes (GRECO). Palma, España.

Resumen ejecutivo	6
1. Introducción	7
1.1. La producción de acuicultura	7
1.2. La producción de mejillón	7
1.3. El cultivo de mejillón en España	9
1.4. Desafíos ambientales de la producción y transformación del mejillón	12
1.5. Objetivo del informe	13
2. Material y métodos	15
2.1. Alcance del informe	15
2.2. Cálculo de la disponibilidad total: producción, comercio internacional y transformación	17
2.2.1 Disponibilidad total	17
2.2.2 Producción, comercio internacional y transformación	18
2.3. Cálculo de la disponibilidad neta	18
2.4. Cálculo del consumo y el uso industrial	19
2.5. Cálculo de las distancias recorridas en la cadena de transporte del mejillón	20
2.5.1. Transporte internacional de importación	20
2.5.2. Transporte nacional	21
2.5.3. Transporte interprovincial de recirculación	22
2.5.4. Transporte de distribución intraprovincial a los puntos de venta	22
2.5.5. Transporte de distribución a los hogares y a establecimientos de consumo extradoméstico	22
2.5.6. Cálculo de la distancia media ponderada y de la masa por distancia recorrida	22
2.6. La huella de carbono	22
2.6.1. Definición de la unidad funcional	24
2.6.2. Coeficientes de emisión de la producción de mejillón en fresco, congelado y en conserva	25
2.6.3. Cálculo de la distancia media ponderada	28
2.6.4. Coeficientes de emisión del transporte del mejillón	30
2.6.5. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero	30
2.6.5.1. Emisiones de la producción y transformación	31
2.6.5.2. Emisiones del transporte	31

3. Resultados	33
3.1. Disponibilidad total: producción nacional y flujos de comercio internacional	33
3.1.1. Mejillón fresco	35
3.1.2. Mejillón congelado	36
3.1.3. Mejillón en conserva	36
3.2. Disponibilidad neta y recirculación	37
3.3. Distancias recorridas	39
3.3.1. Transporte internacional	39
3.3.1.1. Distancia media ponderada del transporte internacional	39
3.3.1.2. Distancia media ponderada del transporte nacional de las importaciones	40
3.3.2. Disponibilidad neta asociada al consumo	41
3.3.2.1. Distancia media ponderada hasta los centros logísticos	41
3.3.2.2. Distancia media ponderada del transporte de distribución a los puntos de venta	43
3.3.2.3. Distancia media ponderada del transporte de distribución a los hogares	43
3.3.2.4. Distancia media ponderada total de la disponibilidad neta	43
3.4. Consumo de mejillón	45
3.5. Emisiones de la cadena alimentaria del mejillón	46
3.5.1. Mejillón fresco	48
3.5.2. Mejillón congelado	49
3.5.3. Mejillón en salmuera	49
3.5.4. Mejillón en escabeche	50
3.6. Emisiones del consumo de mejillón en España	54
4. Discusión	55
5. Conclusiones	60
6. Glosario	62
7. Referencias	65

1. Evolución de la producción de mejillón en la UE y contribución porcentual de España a la producción total.	9
2. Sistemas de cultivo de mejillón en España.	11
3. Esquema detallado del sistema de producción y transformación del mejillón.	16
4. Descripción esquemática del cálculo realizado para las emisiones en función de si se trata de la producción de mejillón fresco y procesado.	24
5. Diagrama de Sankey que representa los flujos de biomasa del mejillón y las emisiones de CO ₂ eq. de la producción y exportación en los límites del sistema LS1.	34
6. Producción y comercio internacional de mejillón por provincias.	35
7. Distribución (en porcentaje) de la producción y el comercio internacional de mejillón en sus distintas presentaciones.	37
8. Distancia media ponderada (DMP) de las importaciones y porcentaje de la DMP recorrida por tipo de transporte y país de origen.	40
9. Distancia media ponderada expresada en km., desagregadas por cada uno de los productos y para cada tipo de vehículo.	42
10. Distancia media ponderada asociada al reparto desde los centros logísticos a los puntos de venta.	43
11. Distancia media ponderada de la cadena del mejillón.	44
12. Consumo de carne de mejillón dependiendo del producto de consumo y consumo total provincial de carne de mejillón per cápita.	45
13. Emisiones totales de la cadena alimentaria del mejillón.	47
14. Emisiones totales de la subcadena del mejillón fresco.	48
15. Emisiones totales de la subcadena del mejillón congelado.	49
16. Emisiones totales de la subcadena del mejillón en salmuera.	50
17. Emisiones totales de la subcadena del mejillón en escabeche.	51
18. Emisiones asociadas al consumo de mejillón en sus distintas presentaciones.	53

ÍNDICE DE TABLAS

1. Producción mundial de mejillones de acuicultura en 2019. Estadísticas de pesca y acuicultura. Producción mundial de acuicultura 1950-2020.	8
2. Información para el cálculo de las distancias del transporte a los hogares.	23
3. Factores de conversión para el cálculo de la unidad funcional según el tipo de presentación de mejillón.	25
4. Revisión de los coeficientes de emisiones de la producción de mejillón, según su presentación comercial.	27
5. Información detallada de los subíndices utilizados para el cálculo de la distancia media ponderada (DMP) para los diferentes tipos de transporte.	29
6. Revisión de los coeficientes de emisiones utilizados en el transporte.	30

RESUMEN

El cultivo de mejillón se considera una actividad sostenible, ya que además de proporcionar nutrientes esenciales y saludables para los humanos, como vitaminas, minerales y proteínas, contribuye positivamente al entorno marino y a las comunidades costeras. Este informe analiza la cadena de producción y transformación del mejillón en España, considerando sus distintos destinos desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental. Para ello, se ha calculado la huella de carbono asociada al consumo y la exportación de mejillón en sus distintas presentaciones (fresco, congelado y en conserva), considerando el transporte (terrestre, marítimo o aéreo) desde las fases de producción, transformación, comercio (nacional e internacional), hasta el consumo final.

En España, la cadena de producción de mejillón fresco se orienta principalmente hacia la industria de la transformación para la producción de mejillón en conserva y congelado, y secundariamente hacia el consumo y la exportación en fresco. Mientras que el producto congelado se encuentra más orientado a la exportación, ya que se exporta 6 veces más cantidad de la que se consume en España, el mejillón en conserva que se consume presenta un alto grado de dependencia de flujos de importación, que representan casi la misma cantidad que se consume en España. El consumo de los distintos productos de mejillón a nivel nacional se encuentra distribuido por todo el territorio, lo que implica un flujo desde las provincias productoras o receptoras de productos internacionales hacia aquellas donde se consume.

Nuestros resultados indican que la huella de carbono total asciende a 287.8 GgCO₂eq (miles de toneladas de CO₂ equivalente), con el mejillón en escabeche representando el 54% de las emisiones totales. El formato en escabeche es la principal presentación de carne de mejillón consumida en España, con un 48% del consumo de mejillón en sus distintas presentaciones. Cabe señalar que la fabricación industrial de mejillón transformado (congelado y en conserva) emite una cantidad de CO₂eq similar a la producción de mejillón fresco necesaria para mantener la cadena (123.0 GgCO₂eq y 129.9 GgCO₂eq respectivamente).

Por cada kilogramo de carne de mejillón se emite una media de 6.3 kgCO₂eq, existiendo grandes diferencias según se trate del mejillón fresco (4.1 kgCO₂eq), o transformado (3.6–8.5 kgCO₂eq). El producto más consumido, la conserva en escabeche, supone la mayor contribución por kilogramo de carne de mejillón consumida en España, con unas emisiones derivadas de la transformación del 66% y un valor de 8.5 kg CO₂eq/kg de carne.

Se sugieren medidas de mejora para la cadena de producción y comercialización, como promover el consumo nacional, diversificar los mercados y mejorar la eficiencia en las etapas de la cadena de producción para reducir el impacto ambiental. Este estudio destaca el papel que desempeña la provincia de Pontevedra, en Galicia, en las cadenas globales de exportación e importación, así como la concentración de las importaciones de Nueva Zelanda y Chile.

1. Introducción

1.1. La producción de acuicultura

La acuicultura se refiere a la cría de diferentes especies en ambientes acuáticos controlados, como peces, moluscos, crustáceos y algas, destinados al consumo humano. A diferencia de la pesca marina, que ha experimentado un estancamiento debido a la sobreexplotación, excesivo esfuerzo pesquero en relación a las medidas de gestión, y la pérdida de hábitats, la acuicultura ha crecido significativamente en las últimas décadas. En 2020, la producción combinada de pesca y acuicultura alcanzó un récord de 214 miles de megatoneladas¹⁾ (Mt), con la acuicultura representando el 57.3% de este total (FAO 2022a).

En ese mismo año, el 71.4% de la producción total de acuicultura estuvo destinada al consumo humano, mientras que el 28.6% se destinó a algas con diversos usos. Asia lideró la producción global de acuicultura, contribuyendo con el 91.6% del total (FAO 2022a). La acuicultura marina representó el 55.5% de la producción mundial, con 33.1 Mt de animales acuáticos y 35 Mt de algas (FAO 2022a). Además, la producción de pescado de acuicultura alcanzó los 57.5 Mt, con 49.2 Mt provenientes de acuicultura continental y 8.3 Mt de acuicultura marina. Moluscos, crustáceos y otros invertebrados acuáticos contribuyeron con 17.7 Mt, 11.2 Mt y 525 kilotoneladas (kt), respectivamente (FAO 2022a).

1.2. La producción de mejillón

En la actualidad, la mayoría de los moluscos bivalvos consumidos a nivel mundial provienen de varios países europeos, América del Norte, China y Chile (FAO, 2022a). Las especies de moluscos bivalvos más relevantes para el comercio internacional son las vieiras, almejas, ostras y mejillones. En 2019, de la producción mundial de 15.7 Mt de bivalvos, los mejillones contribuyeron con 1.6 Mt (FAO, 2022b).

La producción de mejillón incluye varias especies, siendo las más destacadas en 2019, por orden de producción decreciente: el chorito, el mejillón común, el mejillón verde, el mejillón de Nueva Zelanda, el mejillón mediterráneo, el mejillón coreano, el mejillón de roca sudamericano, el mejillón australiano, y

¹⁾ Una megatonelada es equivalente a un millón de toneladas.

en menor medida, la cholga y el choro (Tabla 1). La categoría FAO denominada «mejillones nep» agrupa varias especies de mejillones sin identificar incluyendo toda la producción de China. En esta categoría se incluye, además, la producción de mejillón mediterráneo de España (Tabla 1).

Tabla 1.

Producción mundial de mejillones de acuicultura en 2019. Estadísticas de pesca y acuicultura. Producción mundial de acuicultura 1950-2020 (FAO, 2022b).

En: FAO División de Pesca y Acuicultura [en línea]. Roma. Actualización 2022.

www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/es

Nombre común	Nombre científico	Toneladas
Mejillones nep	Varias especies	1 114 594
Mejillones chorito	<i>Mytilus chilensis</i>	379 097
Mejillón común	<i>Mytilus edulis</i>	168 979
Mejillón verde	<i>Perna viridis</i>	105 032
Mejillón de Nueva Zelanda	<i>Perna canaliculus</i>	98 470
Mejillón mediterráneo	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	95 895
Mejillón coreano	<i>Mytilus unguiculatus</i>	51 560
Mejillón de roca sudamericano	<i>Perna perna</i>	13 290
Mejillón de Australia	<i>Mytilus planulatus</i>	2 697
Cholga	<i>Alaucomya atra</i>	1 103
Choro	<i>Choromytilus chorus</i>	829

Hasta principios de los años 1960, Francia lideraba la producción de mejillón. A partir de entonces, España se convirtió en el principal productor hasta mediados de los 80s, cuando China pasó a ocupar el primer lugar en la producción de mejillón fresco. En el período comprendido entre 2010 y 2020, los principales países productores fueron China, con una producción fluctuante entre 998 y 762.2 kt; Chile (con 400.6 a 211.4 kt); España (con 283.8 a 162 kt); Nueva Zelanda (con 101.7 a 76.8 kt); Italia (con 79.5 a 64.3 kt); Francia (con 70.4 a 48.8 kt); Canadá (con 29 a 17 kt), y Alemania (con 22 a 4.9 kt).

En el contexto de la Unión Europea (UE), la producción de mejillón fresco se ha mantenido en 450 kt durante el período 2010–2020. De este total, el 94% proviene de la acuicultura y solo el 6% de la pesca extractiva (FAO, 2022b). España destaca como el principal productor de la UE, con 228.2 kt en 2019, lo que representa casi la mitad de la producción total (49%). Le siguen Francia, con 60.3 kt (13% de la producción); Italia, con 52.5 kt (11%); Países Bajos, con 38.2 kt (8%); Grecia, con 23.5 kt (5%); Alemania, con 22 kt (4.7%); e Irlanda, con 15.2 kt (3%) (FAO, 2020).

El 98% de mejillón (*M. galloprovincialis*) producido en España se cultivó en Galicia, con 72% en la Ría de Arousa (Pontevedra) y 26% en la Ría de Sada (A Coruña) (Figueras y Cáceres, 2007). El 2% restante se produjo en la vertiente mediterránea, principalmente en Cataluña, Comunidad Valenciana, Andalucía e Islas Baleares (MAPAMA, 2019).

La producción de mejillón en la UE ha experimentado una tendencia decreciente en las últimas dos décadas (Figura 1), a diferencia del crecimiento observado a nivel mundial. Entre 2000 y 2013, la producción experimentó una disminución constante, con algunas fluctuaciones, seguida de un leve aumento entre 2013 y 2018, para luego volver a decrecer. Esta tendencia se ve influenciada, en gran medida, a la evolución seguida por la producción española. Varias causas se han atribuido a este descenso en la producción, incluyendo el aumento de las proliferaciones de algas tóxicas y de las enfermedades que afectan a los moluscos, la escasez de semillas disponibles para el cultivo, la depredación y la falta de inversiones debido a las limitadas ganancias en el sector (Avdelas *et al.*, 2021).



Figura 1. Evolución de la producción de mejillón en la UE (puntos y línea continua) y la contribución porcentual de España a la producción total (barras).

1.3. El cultivo de mejillón en España

La miticultura, tal como se conoce hoy, comenzó en Cataluña en 1901 con el cultivo de mejillones en viveros flotantes en los puertos de Tarragona y Barcelona. Este método alcanzó su punto máximo en 1909 con 119 bateas. El sistema se extendió a otros puertos del litoral mediterráneo, llegando a existir 156 bateas en España en la década de 1920, incluyendo las 119 de Barcelona,

21 en Tarragona y 16 en Valencia (OESA, 2017). Fue en 1940 cuando el cultivo de mejillón se introdujo en Galicia, específicamente en las Rías de Arousa y Vigo. Con el tiempo, Galicia logra resultados excepcionales, produciendo en ocho meses lo que en Barcelona requería dos años de cultivo (OESA, 2017). Esto convirtió a Galicia en el principal centro de producción de mejillón en España (Labarta y Corbacho, 2002; Labarta & Reiriz, 2019).

El sistema de producción varía según la región geográfica; mientras que en Andalucía y Cataluña se utilizan las líneas de cultivo o «longlines» y las bateas fijas o mejilloneras, en Galicia predominan las bateas flotantes. Estas bateas están hechas de un entramado de madera del que se suspenden las cuerdas de mejillones (ver Figura 2). En todos estos sistemas, la producción se realiza en cinco etapas:

Obtención de la semilla: La primera fase comienza con la recolección de juveniles de mejillón («semilla»), que en Galicia se extrae de zonas rocosas y se traslada a las bateas para su crecimiento controlado.

Encordado: las semillas se sujetan a la cuerda de cultivo con la ayuda de una red de algodón que las envuelve a lo largo de toda la longitud de la cuerda, y que posteriormente se cuelga de las bateas. Transcurridas 24–48 horas, la semilla ya se ha fijado por sí misma a la cuerda y la red se deteriora y se desprende.

Desdoble: La tercera fase es el desdoble, que implica reducir la densidad de mejillones en las cuerdas para evitar desprendimientos y favorecer el engorde, y generalmente se realiza entre los cinco y seis meses de cultivo.

Cosechado y selección: Después de un período de engorde que dura entre ocho y catorce meses, se lleva a cabo la fase de cosecha y selección cuando el mejillón alcanza el tamaño comercial.

Depuración: consiste en mantener a los bivalvos en instalaciones especializadas antes de su comercialización para que filtren agua libre de contaminación y eliminen así el contenido intestinal, reduciendo la contaminación bacteriana.

La depuración es crucial para garantizar la seguridad alimentaria. Los moluscos bivalvos se alimentan filtrando el agua circundante, lo que puede llevar a la acumulación de bacterias, virus, toxinas y contaminantes químicos en sus tejidos, representando un riesgo para la salud pública. Para proteger al consumidor, las áreas de producción acuícola están sujetas a programas de vigilancia y control de la presencia de metales, toxinas fitoplanctónicas y concentración de la bacteria *Escherichia coli*. En el caso de que el programa de vigilancia detecte la presencia de metales o toxinas fitoplanctónicas, que no se eliminan con la depuración, se prohíbe la comercialización hasta que los niveles óptimos para el consumo se recuperen. Cabe mencionar que la fase de depuración implica un gasto energético significativo en la fase de producción y es la etapa que más contribuye a los impactos ambientales (Iribarren *et al.*, 2010a).

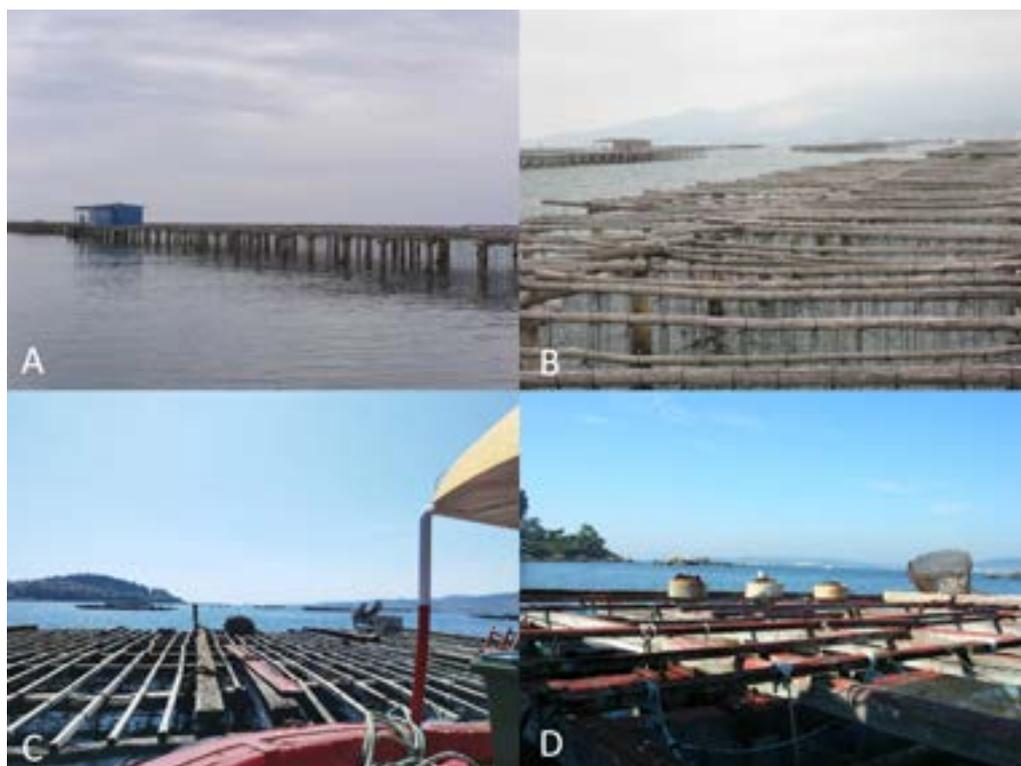


Figura 2. Sistemas de cultivo de mejillón en España. Las figuras A y B son mejilloneras del Delta del Ebro, mientras que C y D son bateas en las rías gallegas. Créditos: Montserrat Ramón (A-B) y Montse Pérez (IEO, CSIC) (C-D).

En términos de la organización de las empresas, en Galicia predominaba en la década de 1970 la producción familiar con un promedio de 3.4 bateas por propietario. En la década de los 90s se empezaron a observar tres grupos diferenciados de empresas que aún persisten: un grupo reducido de empresas, estrechamente vinculado a plantas de depuración y conserveras, que opera con más de doce bateas y emplea trabajadores asalariados; otro grupo de empresas que trabaja con 5-12 bateas y depende ocasionalmente de mano de obra asalariada; y finalmente, un grupo más numeroso de empresas familiares que explotan de una a cinco bateas, y que complementan su actividad con la agricultura y la pesca de bajura.

En cuanto al número de bateas, se pasó de 400 registradas en 1956 a 3 300 bateas en 1976, cifra que se ha mantenido hasta el día de hoy debido a las restricciones y regulaciones para su ubicación. La Xunta de Galicia ha registrado 3 337 bateas distribuidas en las rías gallegas (OESA, 2017).

La creciente globalización también ha influido en el mercado del mejillón, que puede producirse en un país, procesarse en otro y consumirse en un tercero, siguiendo la tendencia de subcontratar el procesamiento y la transformación en países con menores costos laborales (OESA, 2017).

1.4. Desafíos ambientales de la producción y transformación del mejillón

En la actualidad, se reconoce que el sistema alimentario global desempeña un papel importante en el aumento de los efectos negativos del cambio climático, contribuyendo al 21–37% de las emisiones de gases de efecto invernadero netas (IPCC, 2020). La ganadería es responsable de la mayor parte de estas emisiones, representando el 14% del total (Springmann *et al.*, 2016, 2018). De ahí que se avance en la búsqueda de posibles soluciones basadas en un cambio en los patrones de consumo hacia dietas que reduzcan la dependencia de proteína animal, o la sustitución de productos animales por otras fuentes de proteína que generen menos emisiones de gases de efecto invernadero (Westhoek *et al.*, 2011). Los alimentos provenientes de la pesca y la acuicultura de moluscos bivalvos se están proponiendo como una buena alternativa de productos sostenibles y saludables tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana (Costello *et al.*, 2020; Golden *et al.*, 2021).

El cultivo de mejillón se considera una actividad sostenible, ya que además de proporcionar nutrientes esenciales y saludables para los humanos, como vitaminas, minerales y proteínas, contribuye positivamente al entorno marino y a las comunidades costeras. Los mejillones son organismos filtradores que ayudan a regular el ecosistema, contribuyen al ciclo de nutrientes, previenen la erosión costera y fomentan la biodiversidad marina (Carboni *et al.*, 2019; FAO 2022). Sin embargo, a lo largo de todas las etapas de su ciclo de vida, desde la extracción hasta la producción, distribución, consumo y gestión de residuos, la producción de mejillón también puede tener impactos ambientales (Iribarren, 2010; Iribarren *et al.*, 2010a; 2010b; 2010c, 2011; Lozano *et al.* 2010).

Se desconoce el impacto de la recolección de la semilla de mejillón sobre las comunidades del litoral rocoso. En la etapa de producción, las áreas de cultivo concentran grandes densidades de mejillones en suspensión, que filtran grandes volúmenes de agua para alimentarse y devuelven al medio las partículas no aprovechadas en forma de heces y pseudoheces. Estos desechos biológicos, llamados biodepósitos, pueden causar alteraciones en el fondo marino al enriquecer los sedimentos subyacentes y provocar cambios en la comunidad bentónica (Cranford *et al.*, 2009).

En España se han realizado varios estudios que evalúan, desde el punto de vista medioambiental, el ciclo de vida del mejillón en Galicia (Iribarren, 2010; Iribarren *et al.*, 2010a; 2010b; 2010c, 2011; Lozano *et al.* 2010). Estos estudios han identificado que los puntos críticos del procesamiento de mejillones frescos incluyen, principalmente, el consumo de electricidad y agua en el proceso de depuración. De manera similar, en línea con otros estudios sobre productos transformados (Warmerdam *et al.*, 2021), los puntos críticos ambientales para el procesamiento de mejillones en conserva incluyen el uso de electricidad para la purificación, la fabricación del envase, el transporte de las latas y la producción de aceite para la conserva (Iribarren *et al.*, 2011).

Francia es uno de los principales socios de España en el comercio internacional del mejillón. La mayor parte de la producción de mejillones frescos se realiza en la vertiente atlántica, en las inmediaciones del Mont Saint-Michel, donde se cultiva el mejillón en *bouchots*²⁾ sobre los que se enrollan las cuerdas con la semilla. Algunos autores concluyen que las principales actividades con impacto en el cambio climático en este sistema de producción se relacionan con el uso de combustible, la fabricación de las embarcaciones, la cosecha de los mejillones y la purificación (Aubin *et al.*, 2014; 2018).

En el Atlántico Norte se han realizado estudios de las emisiones relacionadas con el cultivo de mejillón en Suecia (Frösell, 2019), Noruega (Winther *et al.*, 2009) y Escocia (Meyhoff-Fry, 2012). Estos estudios han identificado que la principal fuente de emisiones en Suecia es la fabricación de bienes de capital, como las embarcaciones o las estructuras de cría, mientras que, en Noruega, incluyen el uso de combustible para las embarcaciones y la cosecha. La producción en Escocia, basada en el sistema de cuerdas suspendidas ('longlines'), también ha sido objeto de estudio, y se ha señalado que el consumo de energía en las granjas y las depuradoras contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el entorno mediterráneo, se ha observado que la fabricación de bienes de capital como embarcaciones y sistemas de cultivo tiene un gran impacto ambiental en Italia, mientras que, en Argelia, el gasto energético en actividades como el bombeo de agua y la limpieza de los mejillones previa a la comercialización es la principal fuente de impacto ambiental (Lourguioui *et al.*, 2017; Tamburini *et al.*, 2020).

En Nueva Zelanda, uno de los principales exportadores de mejillón en el mundo, también se han realizado análisis ambientales sobre su sistema productivo, indicando que las emisiones varían según el tipo de presentación del mejillón (fresco o transformado). En el caso del mejillón congelado, el uso de diésel en el transporte desde las granjas hasta las plantas de congelación es la principal fuente de emisiones, mientras que, en la presentación de mejillón cocido, el empaquetado y el cocinado durante el procesamiento tienen un mayor impacto (Warmerdam *et al.*, 2021; Thinkstep-anz, 2021).

Sin embargo, a pesar de los avances en la comprensión de los impactos ambientales del cultivo de mejillón, aún existe una laguna de conocimiento importante en cuanto a la huella de carbono de la producción y transformación del mejillón en España. Este conocimiento es fundamental para desarrollar prácticas más sostenibles en la industria del mejillón y reducir su impacto ambiental, lo que es esencial para la conservación de los ecosistemas marinos y la seguridad alimentaria a largo plazo.

²⁾ Troncos de roble o de castaño terminados en punta y clavados bien profundos en la arena de los fondos de las Bahías sobre los que se cultiva el mejillón.

1.5. Objetivo del informe

Este informe tiene como propósito calcular la huella de carbono de la cadena alimentaria del mejillón en España, con especial atención al consumo en sus diferentes presentaciones (fresco, congelado y en conserva), tomando como referencia el año 2017. Para ello, se han identificado los principales factores que contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero a lo largo de la cadena alimentaria del mejillón en España, contemplando las emisiones asociadas a la producción, transformación, transporte, importación y exportación.

El análisis incorpora, además, las emisiones de las distintas presentaciones del mejillón, producidas en España y/o importadas, para ser utilizados por la industria de transformación. Este análisis ayudará a comprender la importancia de adoptar prácticas sostenibles en el sector con el fin de mitigar el impacto ambiental, así como a identificar los aspectos a mejorar a lo largo de la cadena alimentaria.

2. Material y métodos

2.1. Alcance del informe

El sistema de producción y transformación del mejillón se compone de tres subsistemas que corresponden a la comercialización en fresco, congelado y en conserva (figura 3). El mejillón congelado se produce a partir del mejillón fresco, mientras que el mejillón en conserva se prepara utilizando una combinación de mejillón fresco y congelado. Para comprender las interconexiones entre los tres subsistemas se debe considerar no solo el suministro asociado a la producción nacional, sino también las importaciones, así como las relaciones existentes entre la producción de mejillón fresco y congelado y su uso como materia prima en la producción de mejillón en conserva (en salmuera y en salsa, principalmente escabeche).

Se han excluido del análisis algunos productos, como los platos preparados o los piensos, por la dificultad de conocer exactamente su contenido en mejillón, y se han agregado dentro de la categoría «Otros» en los resultados. Además, los platos preparados de pescado y marisco representan tan solo el 4% de las 700 Mt de platos preparados, y solo una parte de ellos contiene mejillón (MAPA, 2017), por lo que, según los datos del Panel de Consumo Alimentario del MAPA, representan apenas una pequeña parte dentro del consumo de platos preparados.

Con el objetivo de conocer el impacto ambiental de la cadena alimentaria del mejillón se han establecido dos límites de análisis (Figura 3). El límite del sistema LS1 incluye la cadena del mejillón, desde la producción acuícola hasta los productos que van a ser exportados. Por tanto, este límite no estima los impactos asociados al transporte de exportación, pero sí aquellos que ocurren en los flujos de productos importados, así como todos aquellos procesos que se dan en territorio nacional para la producción y fabricación de los productos exportados y consumidos en España. El límite del sistema LS2 tiene un enfoque sobre el consumo nacional. En este caso se estiman los impactos ambientales asociados desde la producción, transformación, importación y transporte hasta la puerta de los hogares y el consumo extradoméstico. Por ello, la diferencia entre LS1 y LS2 radica en que el primero se centra en calcular los flujos asociados a la producción y manufactura del mejillón en España, sin considerar los destinos que dichos productos puedan tener, mientras que LS2 se centra exclusivamente en aquellos flujos que configuran el consumo alimentario nacional.

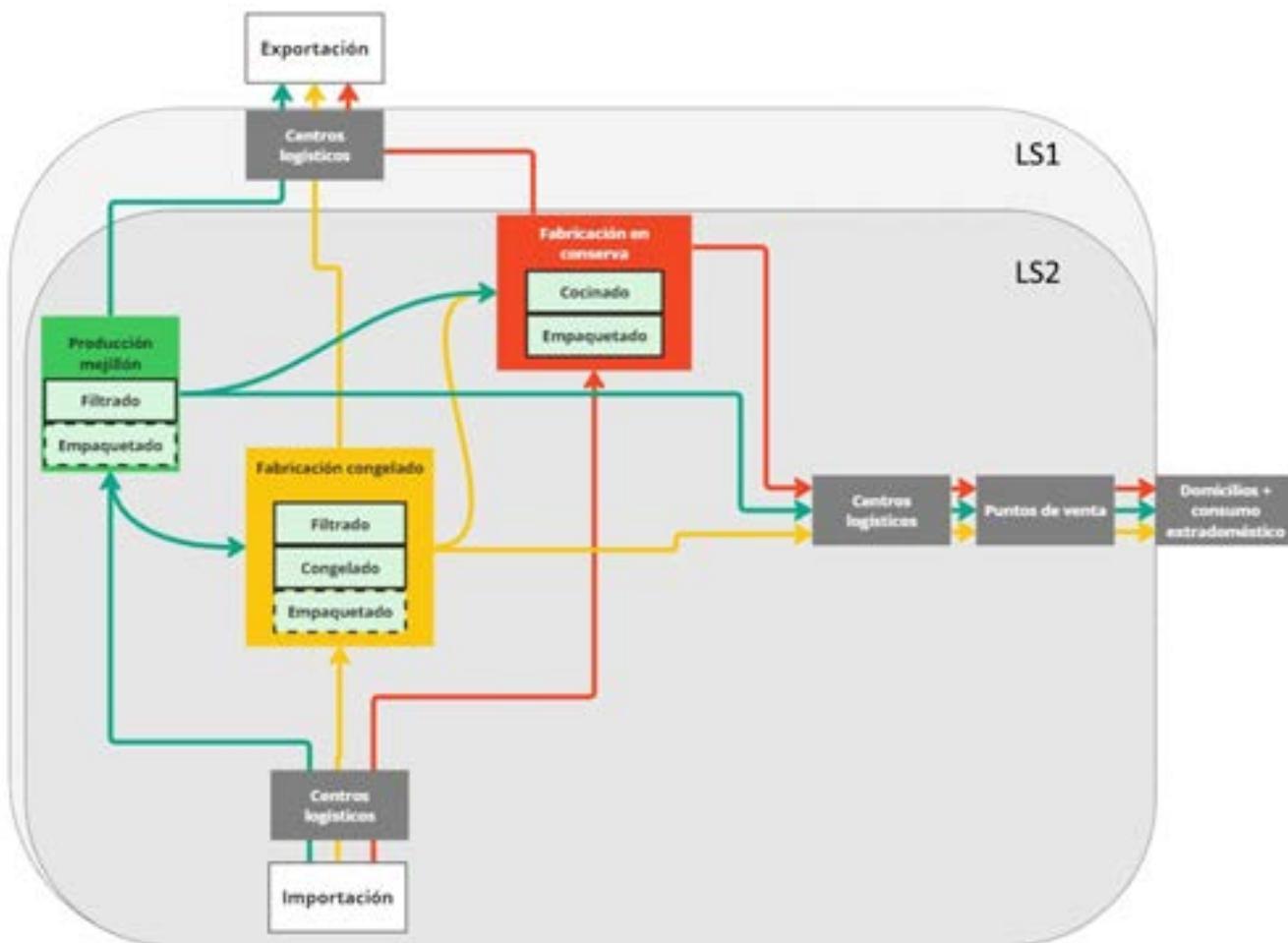


Figura 3. Esquema detallado del sistema de producción y transformación del mejillón. Los límites del análisis se han establecido incorporando todos los procesos implicados en el sistema alimentario del mejillón (LS1), o sólo considerando aquellos productos y procesos vinculados al consumo nacional (LS2). El LS1 no incluye el transporte de exportación (ver metodología). En el esquema se indican los flujos para el mejillón fresco (línea verde), mejillón congelado (amarillo) y mejillón en conserva (rojo). Se emplean cajas con líneas discontinuas para ilustrar un proceso que puede variar según su destino. Por ejemplo, si el producto congelado se destina al consumo final, se utiliza el proceso de empaquetado en bolsas, mientras que, si se utiliza como materia prima en la fabricación industrial, se siguen diferentes presentaciones y procedimientos de fabricación. El mejillón en conserva tiene un proceso de cocinado en el que se incorporan otros ingredientes (aceites, salsas) y se empaqueta (habitualmente enlatado y con envase secundario de cartón).

El año 2017 ha sido seleccionado como el año de referencia debido a que, en el inicio de esta investigación, era el último para el que se contaba con datos nacionales e internacionales de producción y comercio debidamente revisados por las autoridades competentes.

Para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero ('GEI') generadas por el sistema de producción, transformación y transporte de mejillón es necesario definir qué componentes se incluyen. Estos componentes engloban el volumen (masa en kilogramos) que se produce a nivel nacional e

internacional y las diferentes rutas de distribución (kilómetros recorridos) hasta la distribución final a los hogares y los establecimientos de hostelería, teniendo en cuenta todos los aspectos esenciales para que cada una de estas etapas sea operativa. Para ello, es necesario utilizar factores de conversión que permitan transformar estos componentes en emisiones de GEI de la forma más precisa posible. Esto implica por ejemplo, que en el caso del transporte, los coeficientes de emisiones de GEI utilizados reflejan tanto las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles, como las emisiones indirectas que incluyen las actividades de fabricación de la flota de vehículos y el desgaste de la infraestructura. Además, se han tenido en cuenta las emisiones asociadas a la producción y el transporte internacional de las importaciones, los procesos industriales nacionales, y la distribución y el transporte entre centros logísticos, puntos de venta y distribución final hasta los hogares. Las exportaciones se han incluido tanto para calcular la disponibilidad neta de mejillón destinado a la transformación y al consumo en España, como para calcular las emisiones totales a las que da lugar esta cadena alimentaria del LS1.

En este informe no se han considerado las emisiones asociadas al consumo en los hogares y la hostelería, ni aquellas relacionadas con el tratamiento de residuos.

2.2. Cálculo de la disponibilidad total: producción, comercio internacional y transformación

2.2.1 Disponibilidad total

La *disponibilidad total* (D_t) representa el volumen total (en t) disponible de mejillón para satisfacer los flujos dentro de la cadena de suministro y se calcula sumando la *producción nacional* (P_b) y la *importación* (I_b), y corrigiendo las *pérdidas y desperdicio alimentario* ('PDA') según FAO (2011) (Eq. 1):

$$D_t = P_b + I_b - \sum PDA \quad (1)$$

En este caso, se aplican pérdidas asociadas a la producción y a la importación, algo que reducirá la cantidad disponible total para los distintos destinos posteriores. La D_t se destina a los tres flujos principales de la cadena: *exportación* (E_b), *uso industrial* (M) como materia prima en el caso de la transformación a congelado y conserva en salmuera o en escabeche, y *consumo humano* (C).

Los datos disponibles sobre pérdidas y desperdicios son limitados y los coeficientes existentes no resultan comparables entre las fuentes consultadas, ya que el concepto de pérdida o desperdicio varía entre ellas (Corrado *et al.*, 2019; FAO, 2011; Sánchez López *et al.*, 2020). Para este informe, se utilizan los coeficientes de pérdidas convencionales indicados por FAO para la categoría «Fish», aplicados a cada una de las etapas de la cadena de suministro (FAO 2011).

2.2.2 Producción, comercio internacional y transformación

Los datos de producción de mejillón fresco proceden de la base de datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA 2017), que proporciona información para cada Comunidad Autónoma (CCAA). Para desglosar estos datos a nivel provincial se utilizó el estudio regional de OESA sobre la producción provincial de Galicia, principal CCAA productora de mejillón en España (OESA, 2017). Para la atribución de la producción en el resto de provincias se ha recurrido al conocimiento experto de los autores del informe. Los flujos de importación provienen de los datos oficiales de comercio exterior, que incluyen información sobre países de origen, destino de las provincias españolas, volumen transportado y medios de transporte utilizado (terrestre, marítimo y aéreo) (DataComex, 2017).

Los datos de producción de la industria transformadora se obtuvieron de la Encuesta Industrial Anual de Productos (INE, 2017a). Para determinar la cantidad de mejillón en salmuera y en escabeche que componen el mejillón en conserva se utilizó la información proporcionada por EUMOFA (2022), que establece que el 90% del mejillón en conserva se transforma en escabeche, valor que también ha sido validado con expertos en la producción de mejillón en Galicia. Los códigos de mercancía PRODCOM-TARIC permitieron establecer la equivalencia entre las categorías de la EIP y los datos de DataComex (Eurostat, 2019).

2.3. Cálculo de la disponibilidad neta

La disponibilidad neta (D_{neta}) se define como el volumen de producto que queda disponible para el consumo y el uso como materia prima para su transformación, una vez se resta a la D_i la exportación (E_b), considerando la existencia de pérdidas y desperdicio alimentario asociadas a la exportación (PDA_g). Este valor de pérdidas presenta un valor positivo porque para que se den unos flujos concretos de exportación, cierta cantidad de producto se pierde, por lo que se debe incrementar la cantidad necesaria para exportar el volumen indicado por las bases de datos estadísticas. El cálculo se expresa en la Eq. 2:

$$D_{neta} = D_i - (E_b + \sum PDA_g) \quad (2)$$

Aunque se conoce el volumen de mejillón fresco exportado, se desconoce qué proporción proviene de la producción nacional o de la importación. Se asume que se compone de ambas y que es proporcional a la producción nacional (P_b/D_i) y a la importación (I_b/D_i) (Billen *et al.*, 2012). Esto implica que, en un hipotético caso en el que exista la misma cantidad de importación que de producción, el flujo de exportación estará compuesto por producción e importación a partes iguales. Así, la producción o importación neta (valor genérico Z en la Eq. 3), se calcula restando la parte proporcional de las exportaciones:

$$Z_{\text{neta}} = Z_b - E_b \cdot \frac{Z_b}{D_t} - \sum \text{PDA} \quad (3)$$

Esta aproximación se ha aplicado también al mejillón fresco utilizado como materia prima para el congelado y la conserva, y para el mejillón congelado usado como materia prima para la producción de conservas.

2.4. Cálculo del consumo y el uso industrial

En este informe se ha optado por calcular el consumo aparente provincial derivado del cálculo de la disponibilidad total y neta. Esta aproximación calcula el consumo en base al abastecimiento disponible, que permite conocer la cantidad de mejillón utilizado para el consumo humano en cada provincia.

El consumo doméstico y extradoméstico se obtuvo para cada Comunidad Autónoma a partir de los datos del Panel de Consumo Alimentario (MAPAMA, 2017a; 2017b). El consumo autonómico se desagregó a nivel provincial a partir de los datos de la población residente en cada provincia obtenidos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2017b). Además, fue necesario determinar la cantidad de mejillón utilizada por la industria de transformación. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica de estudios previos centrados en esta industria (Álvarez-Salgado *et al.*, 2022; Iribarren, 2010; Iribarren *et al.*, 2010a; 2010b; Lozano *et al.*, 2009), complementada con consultas al sector. Esto permitió obtener información sobre la cantidad de mejillón fresco utilizada en la producción de mejillón congelado, así como del uso de mejillón fresco y congelado en la fabricación de mejillón en conserva. Con todo ello, el consumo aparente se calculó a nivel nacional como la disponibilidad neta una vez sustraído el uso industrial de producto.

La diferencia entre la disponibilidad neta en cada provincia y su volumen de consumo aparente y/o uso industrial ha permitido identificar la existencia de una recirculación de producto entre provincias, desde aquellas provincias cuya disponibilidad neta es mayor que el consumo y el uso industrial, hacia aquellas donde el consumo y el uso industrial es mayor que la disponibilidad neta (Saralegui-Díez *et al.* 2023). Las provincias con excedentes distribuyen el volumen que les sobra hacia aquellas provincias que no cubren su consumo, completando de este modo la cadena de producción y transformación del mejillón. Para calcular el volumen de excedente que reciben las provincias deficitarias se ha asumido que cada provincia con déficit recibe de cada provincia con excedentes una contribución proporcional del total nacional de excedentes agregados. De este modo, cada provincia con excedentes recirculará sus excedentes hacia provincias deficitarias en base a su contribución al total de excedentes nacional. El posible error de este modelado es asumido como residual en un caso como el mejillón, donde la alta concentración de volumen disponible neto en muy pocas provincias hace que, de hecho, la configuración del reparto entre provincias a partir de modelo tenga coherencia con la realidad de las redes logísticas.

2.5. Cálculo de las distancias recorridas en la cadena de transporte del mejillón

Una vez conocida la disponibilidad neta de mejillón es necesario establecer las rutas de transporte (internacionales y nacionales) utilizadas por la red logística de distribución, con el objetivo de conocer las distancias que recorre el producto para poder ser consumido (Aragão *et al.*, 2022; Saralegui *et al.*, 2023). Esto resulta de gran interés, precisamente por la importancia de contabilizar todas las fuentes de emisiones que afectan a la cadena alimentaria, ya sean éstas cortas o largas (Majewski *et al.*, 2020). La red de rutas de transporte conecta los centros de producción en España y el extranjero con las instalaciones de procesamiento, los centros logísticos de grandes cadenas de distribución, los puntos de venta y, en última instancia, los hogares y los establecimientos de consumo extradoméstico en España.

Las aproximaciones habituales, que simplifican el modo de transporte, los orígenes y las rutas de las importaciones, pueden subestimar las emisiones asociadas al transporte (Saralegui-Díez *et al.*, 2023). Por ejemplo, no es lo mismo considerar que todos los productos procedentes de Francia viajan exclusivamente en barco hasta un mismo punto en la península, que considerar que una parte viaja por carretera, otra por vía marítima y otra en avión, conforme indican las estadísticas de comercio exterior (Datacomex, 2017). Pero además hay que considerar que los trayectos aéreos y marítimos también implican transportes por carretera en origen y en destino, o que los puntos de entrada en el país son distintos, o incluso que dentro del país los productos circulan entre provincias dependiendo de factores como la cercanía al punto de entrada, el operador o el destino final. Esto mismo también se debe aplicar a la producción nacional, que en su cadena de valor atraviesa distintos puntos geográficos hasta llegar a su destino. Todo ello implica que, para obtener un resultado detallado, es necesario aplicar una serie de factores de ponderación que consideren múltiples aspectos asociados a la ordenación logística del caso de estudio. Este enfoque permite mejorar el nivel de detalle en el análisis de los transportes de la cadena alimentaria de mejillón, al considerar los pasos intermedios de las rutas de importación que se realizan con diferentes modos de transporte (ver apartado 2.6.4.). El considerar la multimodalidad y las rutas complejas, evita una subestimación de las emisiones asociadas al transporte (Fries y Hellweg, 2014; Craig *et al.*, 2013).

2.5.1. Transporte internacional de importación

Las cadenas de transporte internacional de mejillón en sus diversas presentaciones (fresco, congelado, en conserva) se han caracterizado en base a las estadísticas de comercio exterior de DataComex. Éstas proporcionan información sobre los países de origen, las provincias españolas de destino y los principales medios de transporte utilizados (terrestre, marítimo y aéreo). A partir de estos datos se ha reconstruido la red de transporte

internacional que conecta las zonas de producción en los países de origen con los puntos logísticos de entrada en España, previo al transporte nacional hasta las provincias de destino.

Este proceso se ha llevado a cabo de la siguiente manera:

1. Se han identificado las provincias o regiones internacionales de mayor producción de mejillón fresco como puntos de partida de los flujos. En el caso de los productos congelados y en conserva, asumimos que las industrias se encuentran en la misma provincia donde se produce el mejillón fresco, siguiendo un patrón similar al funcionamiento del sector en España.
2. Se han reconstruido las rutas y modos de transporte desde estos puntos de producción y transformación hasta los puntos logísticos de entrada en España, situados en las ciudades de 20 provincias, que cuentan con infraestructuras portuarias, aeroportuarias u otras adecuadas para la distribución de mercancías internacionales. La asignación de los transportes se describe en el apartado 2.6.

En lugar de asumir una aproximación simplificada que considera solo un punto de origen (A) y un punto de destino (B), se han calculado todas las posibles combinaciones de trayectorias marítimas, aéreas y terrestres desde cada origen, así como el conjunto de vehículos que se utilizan.

2.5.2. Transporte nacional

Para determinar las rutas de distribución dentro de España desde los puntos logísticos de entrada hasta los centros logísticos de distribución de las provincias de importación, se ha seleccionado las principales distribuidoras de alimentos que conforman la red de centros logísticos utilizados en el transporte y distribución de mejillón (DARetail, 2017; MERCASA, 2017; KANTAR, 2017). Estas distribuidoras incluyen a Aldi, Carrefour, Lidl, Dia, Mercadona y la red de MERCASA, empresas de las que se ha hecho una búsqueda en profundidad para atribuir sus localizaciones. Este enfoque ha sido ya utilizado en trabajos previamente publicados en revistas científicas (Aragão *et al.* 2022; Saralegui *et al.*, 2023).

Según el Anuario Estadístico del Ministerio de Fomento (MF, 2017), las rutas de transporte por carretera son el medio predominante para el movimiento de mercancías dentro del país. De ahí que se han seleccionado medios de transporte por carretera conforme al reparto establecido en el Anuario para la categoría de «transportes alimentarios».

La asignación de un punto logístico de entrada en el país a cada una de las provincias destinatarias de la importación se ha realizado siguiendo el criterio de cercanía. En el caso de las Islas, donde los productos llegan por vía marítima, se ha establecido que los productos llegan a las Islas Baleares (Palma) en igual proporción desde Barcelona o Valencia (260 km

aproximadamente), mientras que para las Islas Canarias, el transporte se realiza desde Algeciras (Cádiz). Para las provincias en el centro peninsular se considera que pasan previamente por la provincia de Madrid y aquellas limítrofes con Barcelona o Valencia, por estas dos ciudades, puesto que se entiende que actúan como nodos logísticos centralizados.

Las rutas de distribución se han establecido mediante un algoritmo que calcula con *Google Maps* la ruta de reparto más corta, generando un modelo integrado que representa los diferentes circuitos utilizados por cada distribuidora.

2.5.3. Transporte interprovincial de recirculación

El transporte de recirculación permite conocer la distancia adicional que recorren los productos dentro del territorio nacional cuando se mueven entre los centros logísticos de distribución de las provincias excedentarias y deficitarias. Este cálculo tiene en cuenta las distancias entre provincias y los diferentes tipos de vehículos utilizados, y se ha calculado de manera desagregada para conocer la contribución del transporte según se trate de productos producidos en España o importados, y calcular así su impacto por separado. Se han calculado las distancias existentes entre provincias utilizando el mismo algoritmo de *Google Maps*.

2.5.4. Transporte de distribución intraprovincial a los puntos de venta

El transporte intraprovincial se ha calculado considerando las distancias existentes en el reparto de los productos desde los centros logísticos de distribución asignados a cada provincia hasta los códigos postales ('CP') donde se realiza el consumo, una vez se ha producido el transporte de recirculación. Para ello se han localizado en cada provincia los supermercados con un tamaño superior a 400 m², obtenido de la base de datos DAREtail (2017). Posteriormente, se han calculado las distancias para cada provincia considerando el recorrido entre los centros logísticos de distribución provinciales de cada uno de los operadores y el centro geográfico de cada CP, utilizando el mismo algoritmo *Google Maps*.

2.5.5. Transporte de distribución a los hogares y a establecimientos de consumo extradoméstico

El transporte desde los puntos de venta hasta los hogares se ha calculado utilizando datos estadísticos de transporte y consumo alimentario en áreas metropolitanas, datos relativos a la velocidad promedio del tránsito en zonas urbanas y rurales, y los modos de transporte utilizados. En la Tabla 2 mostramos el cálculo de las distancias del transporte de mejillón a los hogares.

La información sobre los medios de transporte habituales desde los puntos de venta hasta los hogares se ha obtenido de la encuesta de consumo de MPAC

(2016) y se ha complementado con datos de Montaña *et al.* (2016), que indican los distintos medios de transporte según el canal de comercialización. Se ha utilizado también la encuesta MOVILIA de 2006 para conocer la duración del transporte, desagregada por municipio rural o urbano (MF, 2006, 2019). Además, se emplearon datos del Observatorio Metropolitano de la Movilidad (MAPAMA, 2016) sobre las velocidades medias de los traslados. Para el transporte público, se utilizaron datos del barómetro de movilidad del Ayuntamiento de Madrid por ser la única fuente encontrada sobre movilidad pública urbana. Todo ello permite conocer la distancia para los distintos modos de transporte empleados (Tabla 3).

Cabe señalar que, en el caso del transporte a los hogares, éste es independiente del producto que se transporte, por lo que la única ponderación aplicada está en función del modo de transporte utilizado para realizar la compra (Tabla 2).

Tabla 2.

Información para el cálculo de las distancias del transporte a los hogares

Modo de transporte	Velocidad (MAPAMA, 2016)	Tiempo del traslado (laboral fin de semana) (MAPAMA 2016)	Distancia según los distintos modos de transporte	Distribución de modos de transporte para realizar la compra alimentaria (MPAC, 2016)
A pie		16–18 min	1.2 km	59%
Vehículo privado	24 km/h	16–18 min	6.4 km	37%
Transporte público	23 km/h	16–18 min	6.9 km	4%

2.6. La huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono supone la conversión de las actividades desarrolladas a lo largo de la cadena agroalimentaria de mejillón en emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), expresadas como cantidad de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq). Para realizar esta transformación se han aplicado coeficientes de conversión obtenidos de la bibliografía para la producción nacional e internacional, teniendo en cuenta las diferentes presentaciones del producto (fresco, congelado, salmuera y escabeche), y los diferentes medios de transporte utilizados. El uso de coeficientes específicos para cada etapa permite calcular las emisiones de manera más precisa en función de las prácticas de producción, transformación y transporte en cada región geográfica. En los siguientes apartados se explica la aplicación de estos cálculos para cada fase de la cadena.

Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

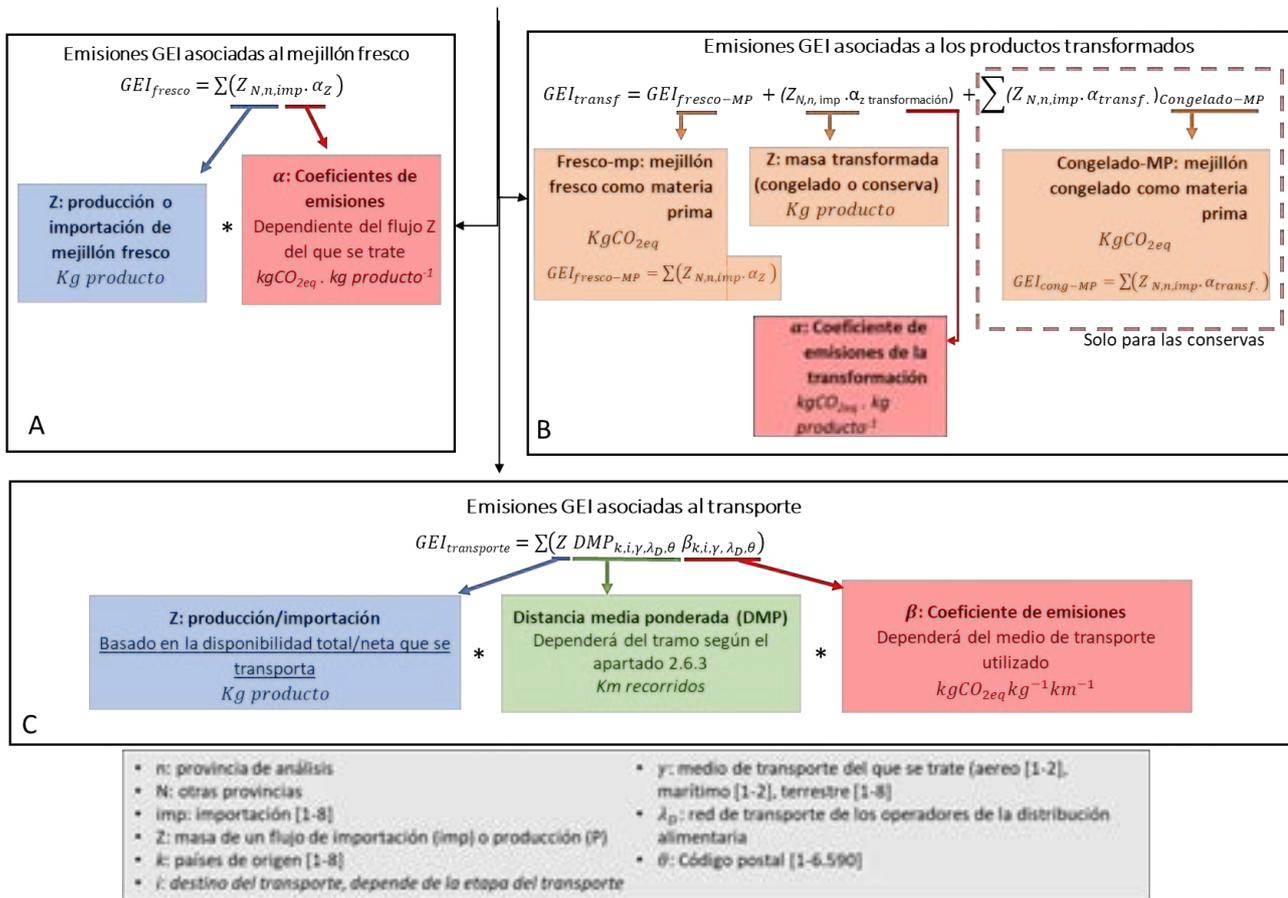


Figura 4. Descripción esquemática del cálculo realizado para las emisiones en función de si se trata de la producción de mejillón fresco, procesado. En las emisiones de los productos transformados la inclusión del tercer término solo se realiza en el caso de las conservas, puesto que para su fabricación se utiliza mejillón congelado como materia prima.

2.6.1. Definición de la unidad funcional

Para poder comparar las emisiones de GEI entre las presentaciones de mejillón fresco, congelado, salmuera y escabeche, es necesario definir una Unidad Funcional ('UF'). En este informe, la UF se ha definido como un kilogramo de carne de mejillón. Se ha elegido esta unidad por ser el elemento común de todas las presentaciones y para su cálculo se aplican los factores de conversión de la Tabla 3.

Tabla 3.

Factores de conversión para el cálculo de la unidad funcional según el tipo de presentación de mejillón.

Presentación	Descripción	Factor de conversión (kg.carne/kg.producto)
Fresco	Mejillón con concha entera, con un contenido en carne del 20%	0.20
Congelado	Carne de mejillón sin concha y congelada	1.00
En conserva (salmuera o escabeche)	Carne de mejillón sin concha mezclada con otros ingredientes	0.60

La presentación en congelado y en conserva puede también suponer una transformación en el peso de la carne ya que, por ejemplo, en el caso de la conserva se añaden otros ingredientes. Esta UF es una medida comúnmente utilizada en la evaluación de la huella de carbono de diversos alimentos, incluido el mejillón (Aubin *et al.*, 2018; Iribarren 2010; Nijdam *et al.*, 2012; Warmerdam *et al.*, 2021).

2.6.2. Coeficientes de emisión de la producción de mejillón en fresco, congelado y en conserva

Los coeficientes de emisión utilizados para calcular los GEI de la producción de mejillón se han obtenido de diversas publicaciones científicas y programas informáticos para el estudio del impacto ambiental. Estos coeficientes reflejan las emisiones asociadas a los diferentes modos de producción del mejillón, ubicación geográfica de la producción y otros factores relevantes (Tabla 4). A continuación, se describen los principales aspectos aplicados en el informe en relación a estos coeficientes de emisión:

Origen geográfico: Se han obtenido coeficientes para la producción de mejillón fresco en Francia, Italia, Argelia, Suecia, Noruega, Escocia y Nueva Zelanda. En el caso de España se han utilizado datos de la producción de mejillón en Galicia, donde se concentra el 98% de la producción.

Sin conchas ni respiración: Los coeficientes de emisión utilizados no tienen en cuenta las conchas del mejillón como sumideros de carbono ni la respiración de los bivalvos como fuente de emisiones. Además, el hecho de que la concha sea un producto secundario de la producción acuícola, centrada en la producción de carne, supone que las emisiones totales del mejillón fresco se han atribuido por completo a la producción de carne.

Países sin información: En algunos países, como Portugal, Grecia o Alemania, no se han localizado estudios sobre los coeficientes de emisión de la producción de mejillón fresco. En estos casos, se recurrió al empleo de coeficientes de países que tuvieran características de producción y procesamiento similares³⁾.

Productos transformados: en el caso de productos congelados y en conserva se utilizaron coeficientes extraídos de la revisión bibliográfica para el caso de Nueva Zelanda (Thinkstep-anz, 2021). Para el caso de mejillón congelado procedente de Alemania y Portugal se optó por la reconstrucción a través de Ecoinvent (Wernet *et al.*, 2016) utilizando para ello los valores de emisiones del mejillón francés (producción en bouchots) como genérico global en el caso alemán y del mejillón gallego en el caso portugués, pero utilizando el impacto del uso de la energía global. En el caso del mejillón en conserva, se reconstruyó en base a la base de datos ecoinvent (Wernet *et al.*, 2016), con la producción equivalente a la francesa y la transformación que supone la producción de mejillón en salmuera y en escabeche en Chile, siendo éste el principal país de importación. Este valor se ha inferido al resto de importaciones.

Cabe señalar que la asignación del impacto en el caso de la producción en escabeche y salmuera se ha hecho estableciendo una serie de criterios de uso del producto. Por un lado, el aceite y el agua que acompañan al mejillón en escabeche y en salmuera respectivamente, son componentes necesarios para la preservación del mejillón, por lo que no tienen una intencionalidad adicional en lo que se refiere a la fabricación de un producto alimentario en sí. Esto queda corroborado por el hecho de que sendos líquidos son desechados en el proceso de consumo, por lo que todo el impacto asociado a su producción forma parte del impacto a asignar a la propia carne del mejillón, elemento fundamental del producto consumible analizado.

Sin embargo, en ambos casos se contempla el hecho de que la salsa y/o la salmuera, son consumidas parcialmente al acompañar el propio mejillón. Este consumo de un componente adicional al mejillón debe ser atribuido al líquido y no al mejillón. Consecuentemente se ha decidido asignar que el 90% del impacto del líquido está asociado al mejillón consumido y por lo tanto calculado aquí, mientras que el 10% del impacto se ha asumido que es asociado al líquido y por lo tanto no ha sido contabilizado.

³⁾ Para las importaciones desde Alemania se recurrió al coeficiente de producción de Francia por Asselin-Balençon *et al.* (2020); para las importaciones desde Grecia se utilizó el coeficiente de producción de Italia por proximidad geográfica, y para las importaciones desde Portugal se empleó el coeficiente de producción de Galicia, debido a su proximidad geográfica y a la similitud en las prácticas de producción.

Tabla 4.

Revisión de los coeficientes de emisiones de la producción de mejillón, según su presentación comercial: 1. Aubin y Fontaines (2014), 2. Aubin et al. (2018), 3. Asselin-Balençon et al. (2020), 4. Tamburini et al. (2020), 5. Lourguiou et al. (2017), 6. Frösell (2019), 7. Winter et al. (2009), 8. Meyhoff-Fry (2012), 9. Warmerdam et al. (2021); 10. Thinkstep-anz (2021), 11. Iribarren (2010), 12. Iribarren et al. (2010a), 13. Iribarren et al. (2010b), 14. Lozano et al. (2010), 15. Iribarren et al. (2010c), 16. Iribarren et al. (2011), 17. Wernet et al., (2016). Se han inferido emisiones basándose en valores de referencia en el caso de Alemania (a); Grecia (b), Portugal (c), y de mejillón congelado para Alemania (d). Se ha desestimado el estudio * por diferir en los límites de estudio, y se ha utilizado el valor Ø como valor internacional de referencia, por ser Chile el país exportador prioritario (99% de las importaciones). Coeficiente: kg de CO₂eq/kg producto⁻¹.

Producto	Referencia	País referencia	Sistema de producción	Coefficiente (kgCO ₂ eq/kg producto ⁻¹)
FRESCO (1 kg de mejillón fresco)	1	Francia	Bouchots	0.13
	2	Francia	Bouchots	0.32
	3	Francia	Bouchots	0.45
	4	Italia	Longlines	0.14
	5	Argelia	Longlines	0.40
	6	SUECIA	Redes suspendidas	0.30–2.30
	7	Noruega	Longlines	0.25
	8	Escocia	Longlines	0.25
	9,10	Nueva Zelanda	Longlines	0.60
	11,12,13	España	Bateas	0.47
	14	España	Bateas	0.32–1.37
CONGELADO (1 kg de carne de mejillón congelado)	9, 10	Nueva Zelanda	Longlines	4.5
	14, 15	España	Congelado	5.96
	Reconstruido a partir de 16	España	Sólo transformación, empaquetado en Esoaña	0.48
	Reconstruido a partir de 16	España	Congelado	2.84
	Reconstruido a partir de 16	Genérico internacional	Bouchots	2.61
	Reconstruido a partir de 16	Portugal	Bateas	2.75
SALMUERA (1 kg de carne de mejillón envasado)	Reconstruido a partir de 16	España	Solo transformación + empaquetado en España	1.29
	Reconstruido a partir de 16	Chile	Bouchots	3.21
	9, 10	Nueva Zelanda	Longlines	2.00
ESCABECHE (1 kg de carne de mejillón envasado)	Reconstruido a partir de 16	España	Solo transformación + empaquetado en España	2.27
	Reconstruido a partir de 16	Chile	Bouchots	4.20

2.6.3. Cálculo de la distancia media ponderada

La *distancia media ponderada* (Carlsson-Kanyama *et al.*, 2000; DEFRA, 2005; Pirog & Benjamin, 2005; Simón Fernández *et al.*, 2014) se define como la distancia media recorrida en función de factores de ponderación relacionados con la masa, los operadores o los medios de transportes utilizados en cada trayecto. Cada tramo de los transportes se pondera según la información disponible, tal y como se describe a continuación. De ahí que la distancia media ponderada ('DMP') se calcula de la siguiente forma (Eq. 4):

$$DMP = \sum (m_k \cdot d_{k \rightarrow i})_{\gamma, \eta, \lambda, \theta} \cdot \sum m_i^{-1} \quad (4)$$

Donde k e i representan el punto de partida y de llegada del producto en cada tramo, m la masa de producto transportado, y d la distancia entre k e i. Además, el sumatorio tendrá contribuciones distintas dependiendo del tramo del que se trate, representadas a partir de los subíndices descritos en la Tabla 5 y en los siguientes apartados. De este modo, cada etapa de la cadena considerará una o varias formas de ponderar, que se solapan entre sí para obtener la DMP de cada etapa. Cabe destacar que el valor considerado de m permite obtener ponderaciones para las distancias recorridas distintas según se trate de disponibilidad total, es decir, considerando las cantidades brutas de producción e/o importación, o de disponibilidad total, orientadas hacia la industria y/o el consumo final.

Tabla 5

Información detallada de los subíndices utilizados para el cálculo de la Distancia Media Ponderada (DMP) para los diferentes tipos de transporte.

Tipos de transporte

Subíndice		Internacional	Nacional	Recirculación	Reparto a punto de venta	Reparto a hogares
Descripción	k	Países de importación	Provincias con punto de entrada de la importación	Centros logísticos de las provincias excedentarias	Operadores con centros logísticos de distribución en la provincia k	No aplica
Rango		$k \in [1,8]$	$k \in [1,2019]$	$k \in [0,49]$	$k \in [1,81]$	No aplica
Descripción	i	Provincias con puntos de entrada de la importación. También se han calculado a nivel nacional	Centros logísticos de las provincias importadoras	Centros logísticos de distribución de las provincias deficitarias	Localización geográfica de los códigos postales de todas las provincias españolas (6590)	No aplica
Rango		$i \in [1,20]$	$i \in [1,50]$	$i \in [0,81]$	$i \in [1, 6590]$	No aplica
Descripción	γ	Modos de transporte de la importación. (Se han agrupado en algunos resultados en "carretera", "aire", "marítimo")	Vehículos utilizados para el transporte desde el punto de entrada a España hasta la provincia de importación i	Vehículos utilizados para el transporte desde cada provincia española excedentaria hasta los centros logísticos de la provincia deficitaria i	Vehículos utilizados para el transporte desde los centros logísticos de la provincia k y cada centro geográfico de los códigos postales de la provincia i	Modos de transporte utilizados en el trayecto a los hogares (tabla 3)
Rango		$\gamma \in [1,6]$ (vehículos de la tabla 6)				$\gamma \in [1,3]$ (modos de transporte de la tabla 3)
Descripción	λ	No aplica	Operadores en provincia i	No aplica	No aplica	
Rango		No aplica	$\lambda_D \in [1,6]$ (6 operadores de distribución)	No aplica	No aplica	
Descripción	θ	No aplica	No aplica	Superficie comercial por código postal	No aplica	
Rango		No aplica	No aplica	$[1, 6.590]$	No aplica	
Subíndices implicados		k, i, γ	k, i, γ, λ _D	k, i, γ, λ _D	k, i, γ, λ _D , θ	γ

2.6.4. Coeficientes de emisión del transporte de mejillón

Se han calculado los coeficientes de emisión del transporte de mejillón considerando el parque de vehículos en España utilizados en las diferentes tramos de transporte. La información procede de diversas fuentes teniendo en cuenta el tipo de vehículo, el tonelaje transportado y si emplea o no refrigeración.

Los datos sobre el parque de vehículos se obtuvieron de las estadísticas del Ministerio de Fomento (MF, 2017). Esto permitió estimar de manera más precisa las emisiones de GEI al considerar los diferentes vehículos utilizados. Los coeficientes incluyen tanto las emisiones directas de la quema de combustible así como las indirectas asociadas a los costes de fabricación, reposición y amortización de las infraestructuras de transporte disponibles (Tabla 6).

Tabla 6. Revisión de los coeficientes de emisiones utilizados en el transporte

Tipo de vehículo	kgCO ₂ eq kg ⁻¹ km ⁻¹	Referencia
Camión 16-32 t sin refrigeración	1.6 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, Delgado <i>et al.</i> , 2015
Camión 16-32 t con refrigeración	2.0 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, DEFRA, 2008
Camión 7.5-16 t sin refrigeración	2.1 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016
Camión 7.5-16 t con refrigeración	2.6 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, DEFRA, 2008
Camión 3.5-7 t sin refrigeración	4.4 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016
Camión 3.5-7 t con refrigeración	6.3 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, DEFRA, 2008
Camioneta sin refrigeración	18.4 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, Delgado <i>et al.</i> , 2015; Boureima <i>et al.</i> , 2008
Camioneta con refrigeración	21.4 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, Domouso De Agar, 2018, DEFRA, 2008; Delgado <i>et al.</i> , 2015, Boureima <i>et al.</i> , 2008
Ferry + Camión	0.2 · 10 ⁻⁴	Modelado a partir de Wernet <i>et al.</i> , 2016;
Barco	0.2 · 10 ⁻⁴	Pérez Neira <i>et al.</i> , 2016; Delgado <i>et al.</i> , 2015
Barco con refrigeración	0.2 · 10 ⁻⁴	Pérez Neira <i>et al.</i> , 2016, DEFRA, 2008; Webb <i>et al.</i> , 2013
Avión	14.2 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, Pérez Neira <i>et al.</i> , 2016
Avión con refrigeración	14.2 · 10 ⁻⁴	Wernet <i>et al.</i> , 2016, DEFRA 2008

2.6.5. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero

A continuación se describe cómo se han calculado las emisiones que incluyen las componentes de la producción y la transformación, tanto nacional como la llevada a cabo en países extranjeros, y del transporte en todas sus fases.

2.6.5.1. Emisiones de la producción y transformación

A nivel nacional pueden obtenerse las emisiones asociadas a la producción e importación de mejillón fresco a partir del sumatorio de las emisiones generadas en cada provincia, así como en los países desde los que se importa, conforme a la ecuación de la figura 4A-B.

En esta ecuación Z puede ser bien producción (P) o Importación (I), y a el coeficiente de emisión de la producción (en el caso del fresco) o la transformación (en el caso del mejillón congelado y de las conservas). Para el caso de los productos transformados también se incorpora el factor asociado a las materias primas, que serán las emisiones asociadas al mejillón fresco ($GEI_{\text{fresco-MP}}$) y, para el caso de los productos transformados, también las emisiones del mejillón congelado usado como materia prima ($GEI_{\text{congelado-MP}}$) para cada provincia n , de otras provincias desde las que se recircula (N) o cada país imp , por lo que este cálculo tiene en cuenta la producción correspondiente a cada origen y el coeficiente de emisiones a correspondiente. En resumen, esta aproximación implica calcular las emisiones de GEI para cada provincia en función de la producción, importación y uso de materia prima. El cálculo considera tanto las emisiones directas como las emisiones relacionadas con la recirculación de producto entre provincias deficitarias y excedentarias, ya sean materias primas asociadas a un producto, o como productos que se destinan al consumo. Este enfoque permite una evaluación detallada de las emisiones a lo largo de la cadena de suministro del mejillón en España y hacia la exportación.

En el caso de que se esté realizando el cálculo de las emisiones asociadas al consumo, a Z habrá que restarle la parte destinada a ser exportada y aquella que será utilizada como materia prima en los procesos industriales, es decir, la destinada al uso industrial.

2.6.5.2. Emisiones del transporte

El cálculo de las emisiones asociadas al transporte del mejillón implica considerar las múltiples combinaciones de trayectos que se realizan y los coeficientes que se aplican en cada una de las rutas (figura 4C, tablas 5 y 6).

El cálculo de las emisiones del transporte internacional tiene en cuenta la complejidad del transporte global y no asume un solo medio de transporte, sino que se basa en la multimodalidad utilizada en el comercio internacional, lo que pretende lograr una estimación más robusta de las emisiones asociadas a este proceso. Al considerar las rutas multimodales entre el origen y los diferentes tramos de transporte hasta el punto de entrada en España se evita también la infraestimación de las emisiones, lo que podría ocurrir si se asumiera un solo modo de transporte predominante, especialmente en el caso del transporte marítimo.

Para las emisiones del transporte nacional dentro del territorio español se considera la distribución de productos importados desde los puntos de entrada en España hasta las provincias de destino de la importación indicadas por DataComex principalmente por carretera, salvo por los archipiélagos españoles que recorren distancias marítimas. Para ello, se han asignado centros logísticos de los operadores de la distribución alimentaria como puntos de recepción en las provincias de destino del flujo de importación, considerando las cuotas de mercado (subíndice λ_D , Figura 4c, tabla 5) que estos operadores poseen. El cálculo se ha realizado siguiendo los siguientes pasos:

Asignación de los medios de transporte: El tipo de vehículo utilizado se asigna en base a dos criterios. En primer lugar, se asignan vehículos de mayor tonelaje cuando las distancias recorridas son mayores, considerando que los trayectos de más de 500 km se recorren por camiones de 16–32 t, los de 200–500 km con vehículos de 7.5–16 t, los de 100–200 km con vehículos de 3.5–7.5 t, y los trayectos menores a 100 km se realizan con camionetas (subíndice Ψ).

Corrección y ajuste: Considerando que el Ministerio de Fomento facilita las toneladas-kilómetro realizadas por distintos tipos de vehículo en España por sectores económicos, se compara la distribución de las tkm resultado de los cálculos del transporte dentro del país en este análisis, con esa misma distribución (MF, 2017). Se ha establecido como aceptable un valor de $\pm 10\%$ del valor relativo para cada tipo de vehículo al realizar la comparación. Esto asegura que los cálculos se ajusten a la realidad de los transportes en España. Es de destacar que se ha prestado especial atención a la corrección y ajuste de los tipos de vehículos utilizados para que coincidan con las condiciones reales de transporte en el país.

Las emisiones del transporte de recirculación entre provincias excedentarias y deficitarias y del transporte de distribución desde los centros logísticos hasta los puntos de venta dependen de la distancia del trayecto, de la red logística utilizada (λ_D), el medio de transporte (Ψ), y del volumen del que se transporta. En el segundo caso depende también de la cantidad de superficie de distribución alimentaria disponible en cada Código Postal. Para las emisiones de las materias primas que recirculan entre provincias, se han usado las distancias simples entre las capitales de las provincias. Las emisiones del transporte a los hogares y los puntos de consumo extradoméstico es independiente del tipo de producto que se transporta, puesto que la asignación en la distribución a los puntos de venta ha distribuido los productos en los códigos postales según la superficie comercial disponible. Así, la estimación de las emisiones se ha realizado considerando las velocidades, tiempos de recorrido, distribución de los modos de transporte utilizados y consumo.

3. Resultados

3.1. Disponibilidad total: producción nacional y flujos de comercio internacional

En 2017, la disponibilidad total de mejillón fresco ascendió a 276 kt de las cuales 270 corresponden a producción nacional y 6 a mejillón fresco importado (figura 5).

La industria nacional produjo 15.4 kt de mejillón congelado y se importaron 0.9 del mismo producto, resultando en una disponibilidad total de 16.3 kt.

De mejillón en conserva, se fabricaron 25 kt por la industria nacional y se importaron 12 kt, obteniéndose una disponibilidad total de 37 kt.

Estos flujos están sujetos a pérdidas y desperdicios en la cadena de producción, resultando en 1.9 kt para el mejillón fresco, principalmente como resultado de la producción nacional (1.8 kt). En el caso del mejillón congelado y en conserva, las pérdidas se situaron en torno a las 0.2 kt, en ambos casos.

3.1.1. Mejillón fresco

Dentro de los límites del sistema LS1, 166 kt (60%) de la disponibilidad total de mejillón fresco se destina a las industrias de transformación de congelado y conserva (76 y 90 kt respectivamente), 68 kt (25%) al consumo nacional y 42 kt (15%) a la exportación. La disponibilidad total y la materia prima utilizada por la industria está compuesta principalmente por mejillón de producción nacional, representando un 99%.

El 99% de la producción nacional de mejillón fresco se concentra en Galicia (264.5 kt), con el 72% en la provincia de Pontevedra (194 kt) y el 26% en La Coruña (71.8 kt) (figura 6A). De manera marginal, otras CCAA como Cataluña, la Comunidad Valenciana, Andalucía y las Islas Baleares contribuyen con el 1% de la producción (6.1 kt).

Las importaciones de mejillón fresco (6.4 kt) se realizan principalmente desde las provincias de Tarragona (2.1 kt; 34%), Valencia (2 kt; 31%) y Pontevedra (1.2 kt; 15%) (figura 6B). Los países desde los que se importa son Italia (37%), Grecia (23%), Francia (19%) y Portugal (14%) (figura 6B). Por último, las exportaciones de mejillón fresco (42 kt; 15% de la producción) se realizan principalmente desde Pontevedra (33.3 kt; 80%) y Girona (7.1 kt; 18%) (figura 6C). Los países receptores más importantes son Francia e Italia, que representan el 57% y el 39% del flujo de exportación, respectivamente (figura 6C).

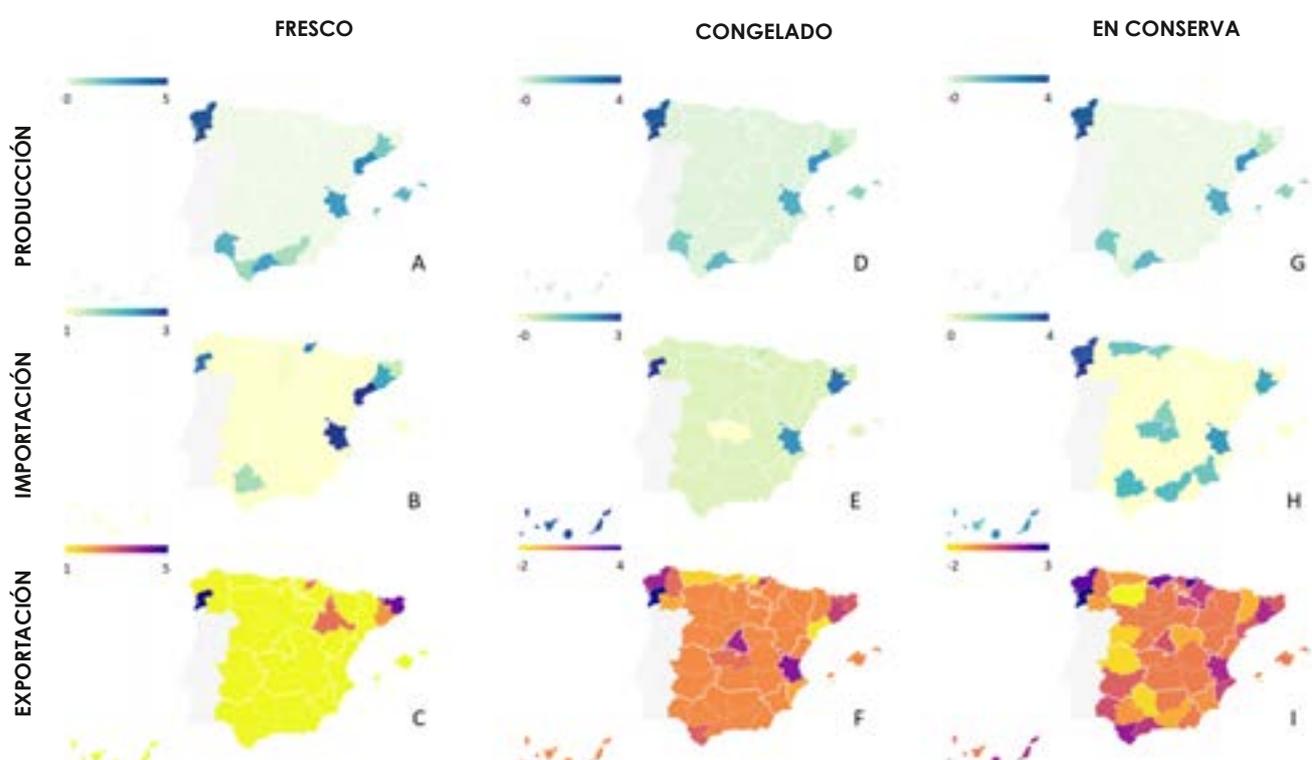


Figura 6. Producción y comercio internacional de mejillón por provincias. Producción (A, D y G), Importación (B, E, H) y Exportación (C, F, I) para cada presentación de mejillón. Unidades: Representación logarítmica en miles de toneladas (kt).

3.1.2. Mejillón congelado

La industria de la transformación de mejillón congelado registró una producción de 15.4 kt, concentrándose el 98% en Galicia (figura 6D). El 2% restante se registra en las provincias de Tarragona, Valencia y Barcelona (0.3 kt). El 72% se orienta hacia la exportación (12 kt), mientras que sólo 2.3 kt (16%) se destina al consumo nacional y 2 kt (12%) a la fabricación de mejillón en conserva.

Las importaciones de mejillón congelado ascienden a 0.9 kt, el 77% procede de Nueva Zelanda (0.7 kt) (figura 7D). En España destacan Pontevedra (0.3 kt; 37%) y Las Palmas (0.2 kt; 27%) como las mayores provincias importadoras de este producto (figura 6E).

El 94% de las exportaciones (11 kt) se realizan desde Pontevedra, siendo de nuevo Francia e Italia los principales países receptores (figura 6F y 7F).

3.1.3. Mejillón en conserva

La industria de la transformación en conserva registró una producción de 25 kt, complementada con 12 kt importadas, de los cuales 29 kt (78%) se destinaron al consumo humano, 4 kt (11%) a la exportación, y el resto (4 kt; 11%), se destinó a otros usos alimentarios. La mayor producción se concentró en Galicia (98%) (figura 6G). El 2% (0.4 kt) de la producción se registró en las provincias de Tarragona, Valencia y Málaga. De esta producción, un 90% se destinó a la producción de carne de mejillón en escabeche y el 10% en salmuera.

Las provincias importadoras son, de nuevo, las grandes provincias productoras, como Pontevedra (7.8 kt) y A Coruña (3.4 kt), que representan en conjunto el 93%, procediendo estas conservas en su mayoría de Chile (figura 6H). La actividad exportadora se concentra en las provincias de Pontevedra (2.2 kt; 55%), Gipuzkoa (0.9 kt; 26%) y A Coruña (0.4 kt; 8%) (figura 6I).

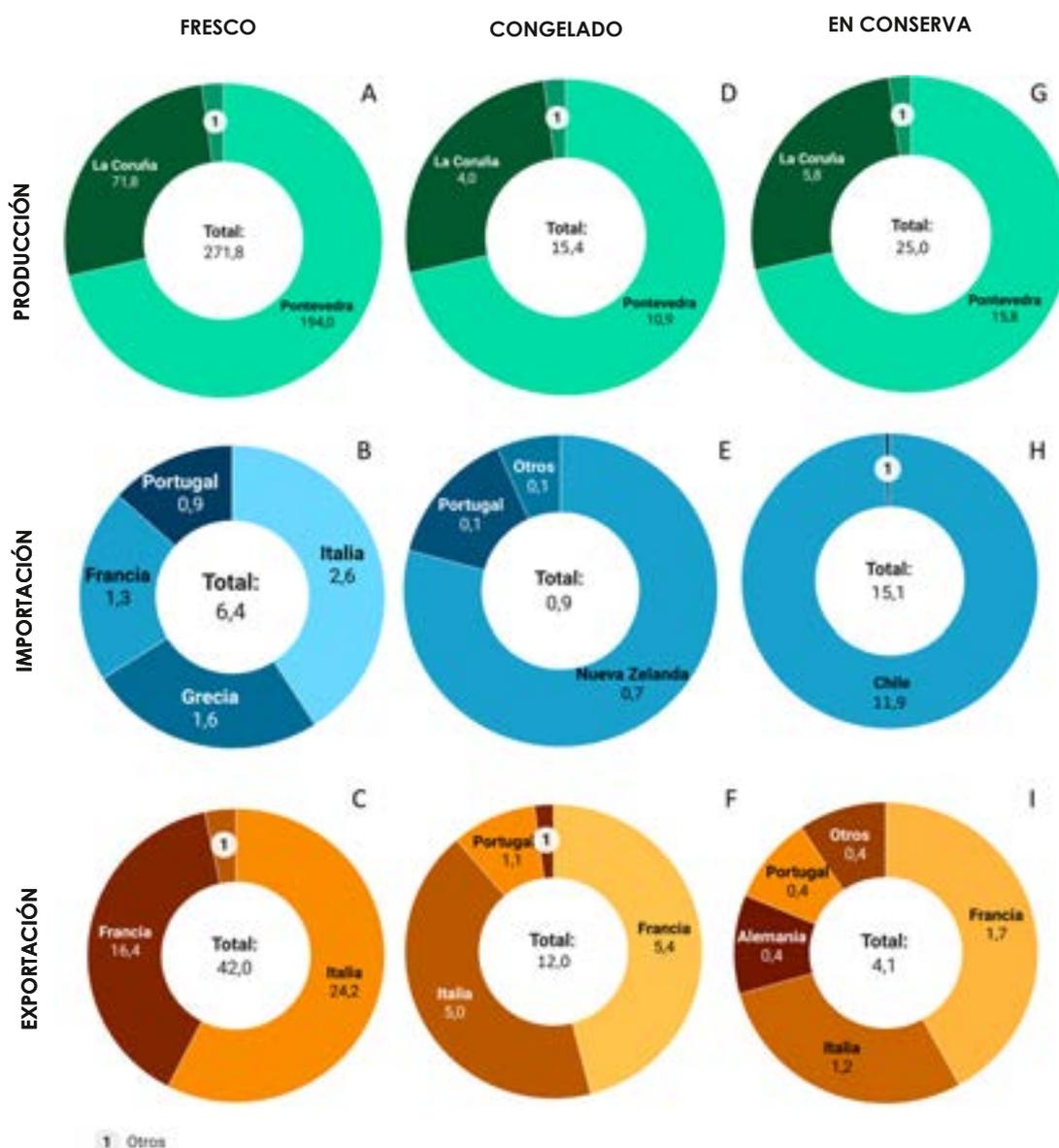


Figura 7. Distribución (en porcentaje) de la producción y el comercio internacional de mejillón en sus distintas presentaciones. Producción y transformación (A, C, F), países de origen de los flujos de importación (B, D y G) y destino de las exportación (C, E, H) según el tipo de producto. Unidades: miles de toneladas (kt). Otros: se refiere a aquellos países con valores inferiores a 0.3 kt.

3.2. Disponibilidad neta y recirculación

Una vez sustraído el volumen de las exportaciones y las materias primas utilizadas para los flujos de exportación (sistema LS2), la disponibilidad neta de mejillón en España se reduce a 234.8 kt para el mejillón fresco, 4.5 kt para el mejillón congelado y 33.0 kt para el mejillón en conserva. La disponibilidad neta está compuesta por el 98% de producción nacional y por el 2% de importaciones. En el caso del mejillón congelado el 92% corresponde a la producción nacional y el 8% a las importaciones. Para el mejillón en conserva,

el 59% proviene de la producción nacional y el 41% de la importación. A nivel provincial, Barcelona, Valencia y Tarragona destacan como provincias importadoras de mejillón fresco, ya que el 86%, 65% y 37% de su disponibilidad neta proviene de terceros países. Sin embargo, la suma de la disponibilidad neta de estas tres provincias apenas alcanza el 4% (9.3 kt) del total nacional. En el caso de los productos congelados destaca Las Palmas, con una contribución del 5% a la disponibilidad neta (0.2 kt) que proviene en su totalidad de las importaciones. Barcelona también figura como provincia importadora de mejillón congelado. Esta provincia contribuye con el 2% a la disponibilidad neta nacional, en su mayoría mediante importaciones (97%). En cuanto a los productos en conserva, las principales provincias productoras, A Coruña y Pontevedra, contribuyen con el 41% y el 35% del total de las importaciones respectivamente. Las Palmas nuevamente depende en su totalidad de las importaciones (100%), representando el 3% de la disponibilidad neta nacional (0.8 kt).

El alto nivel de concentración productiva de mejillón en Galicia tiene dos implicaciones importantes para el funcionamiento de la cadena de suministro en sus tres presentaciones. Primero, se requiere una gran recirculación entre provincias para abastecer el consumo alimentario. Así, 84.8 kt de productos son recirculados entre provincias españolas para abastecer el consumo (57.3 kt de fresco, 25.8 kt en conserva y 1.6 kt de congelado). Esto significa que el 84% del mejillón fresco, el 89% del mejillón en conserva y el 73% del congelado se consume en provincias que no son productoras. Segundo, el volumen de mejillón fresco y congelado recirculado entre provincias que se destina a la producción de mejillón en conserva es muy pequeño (3.2 kt de mejillón fresco y congelado, que supone el 4% de la cantidad necesaria para la industria). Esto se debe a que los centros de producción de mejillón fresco y de transformación se encuentran en esta misma comunidad autónoma.

Para el mejillón fresco destinado al consumo, Pontevedra aporta el 68% (39.2 kt), A Coruña el 30% (17.0 kt) y Tarragona el 2% (1.1 kt). En el caso del mejillón congelado, el excedente recirculado entre las provincias españolas es solo del 7%, siendo A Coruña la principal provincia de origen de la recirculación con 1.5 kt excedentarios (92% del excedente nacional). Esto se debe a la combinación de un alto uso industrial del mejillón fresco para ser procesado y los altos flujos de exportación). Así la aportación de la producción nacional supone el 82% del volumen recirculado (1.7 kt) y el valor de recirculación del mejillón congelado como materia prima para la fabricación de mejillón en conserva apenas alcanza 1.1 kt. Para el mejillón en conserva, observamos que de las 25,8 kt que se recirculan en el país, Pontevedra, como foco de producción, aporta el 70% (18.1 kt), de las cuales el 65% provienen de la industria de la propia provincia (12.7 kt) y 6.3 kt proceden de importaciones que se distribuyen por el resto de las provincias españolas. A Coruña aporta el 30% del excedente nacional de este producto (7.3 kt), de las cuales el 59% (4.3 kt) provienen de su propia industria y el 41% procede de importaciones que son recirculadas (3 kt).

3.3. Distancias recorridas

3.3.1. Disponibilidad total

3.3.1.1 Distancia media ponderada del transporte internacional

En los límites del sistema LS1, las distancias recorridas para el mejillón fresco varían entre 670 km y 3720 km, dependiendo del país de importación (figura 8A). Grecia resulta ser el país más lejano y el segundo mayor exportador a España después de Italia. En cuanto al mejillón congelado, las distancias recorridas varían entre 922 y 23 432 km, destacando Nueva Zelanda como el país principal tanto en distancia como en cantidad exportada. Por último, en relación con el mejillón en conserva, Chile es el país con mayor DMP (14 158 km) y el principal exportador a España. Cabe decir que una pequeña parte de la DMP de la importación se debe a la distancia recorrida por los productos dentro del territorio nacional para llegar a los centros logísticos de distribución (ver apartado 3.3.2).

La mayor parte de la DMP recorrida por el mejillón fresco importado en España se realiza por carretera (90%), y solo una pequeña parte llega en avión (10%) (figura 8B). Respecto al mejillón congelado, el 85% recorre distancias por vía marítima, principalmente desde Nueva Zelanda, y el 14% por carretera desde Portugal y Alemania. El 1% llega en avión, principalmente desde Alemania. El 14% de la DMP recorrida por el mejillón en conserva se realiza por medios aéreos y el 85% por medios marítimos, principalmente desde Chile en ambos casos, mientras que el 1% llega por carretera.

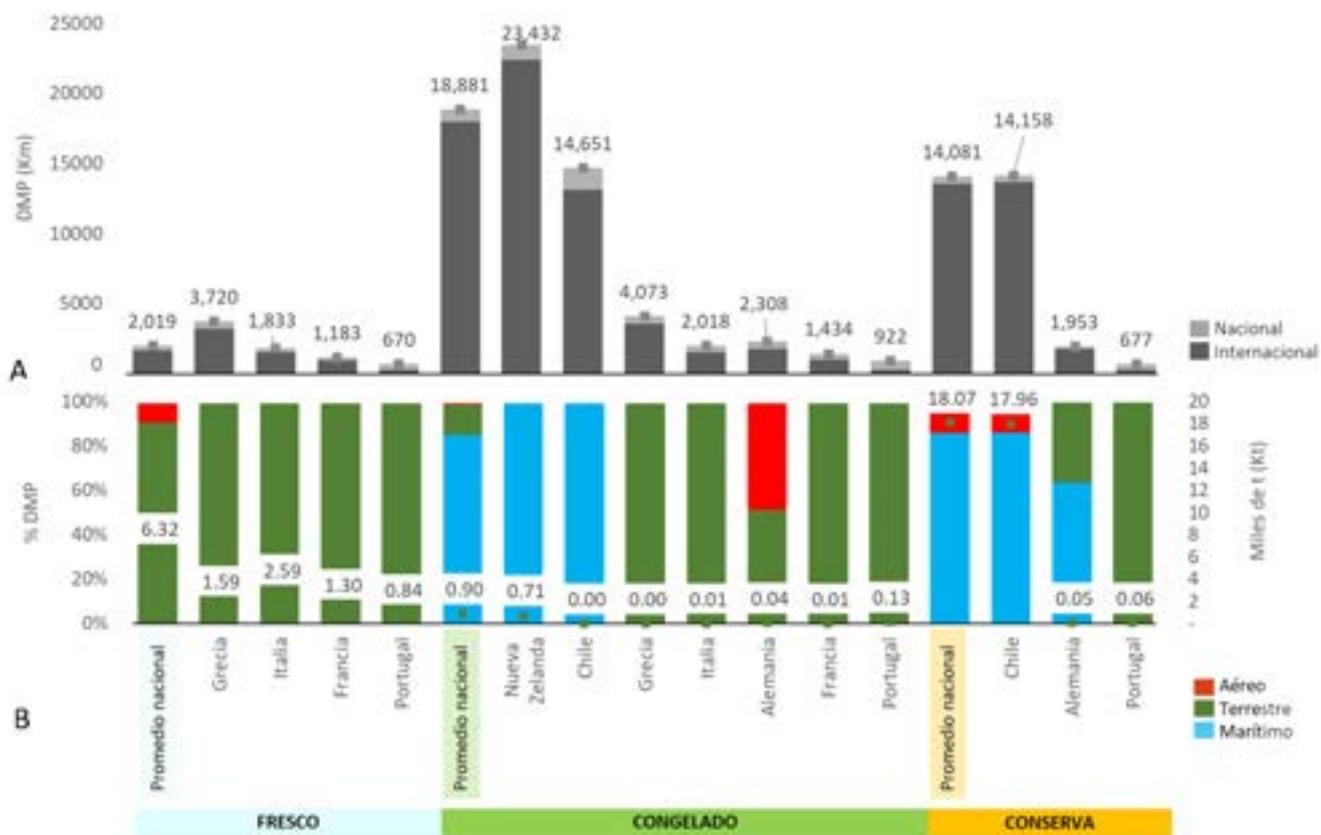


Figura 8. A) Distancias medias ponderadas (DMP) de las importaciones por país de origen y tipo de producto, distinguiendo la distancia internacional (importación hasta punto de entrada en el país) y nacional (desde los puntos de entrada hasta las provincias importadoras). B) Porcentaje de la DMP recorrida por las importaciones por tipo de transporte y país de origen. Se indica la toneladas totales transportadas desde cada país de origen. Asimismo se hace la media ponderada para cada uno de los productos, indicada en negrita.

3.3.1.2 Distancia media ponderada del transporte nacional de las importaciones

La distancia recorrida por todas las importaciones en el transporte nacional, desde los puntos de entrada hasta los centros logísticos de las provincias importadoras, se realiza por carretera salvo los flujos que llegan a los archipiélagos, conectados a través de una combinación de transporte por carretera y marítimo. La distancia recorrida varía en un rango desde los 334 km en el caso del mejillón fresco de Francia hasta los 1 532 y 1 208 km para el mejillón congelado de Chile y Nueva Zelanda, respectivamente (Figura 8A).

En términos provinciales destaca el hecho de que las provincias Canarias importan desde estos países el 100% de su disponibilidad total, y por ello las DMP obtenidas para este trayecto son tan altas. Estas provincias suponen el 6% de las importaciones totales realizadas. Además, las Islas Canarias dependen del suministro desde la península, por lo que las cantidades importadas deben ser transportadas desde la península hasta el archipiélago.

3.3.2. Disponibilidad neta asociada al consumo

3.3.2.1. Distancia media ponderada hasta los centros logísticos

En los límites del sistema LS2, estas distancias contemplan los recorridos desde los distintos orígenes hasta los centros logísticos de distribución alimentaria. El gran peso relativo que tiene la producción nacional de mejillón fresco en la disponibilidad neta hace que la contribución de la importación a la DMP se vea reducida. Así, la DMP de los productos frescos consumidos en España asociada a la importación resulta en 37 km hasta los puntos de entrada en España, 9 km hasta las provincias importadoras y 7 km de recirculación asociada a los productos importados (figura 9A). Por otro lado, la recirculación de la producción nacional desde las provincias excedentarias hasta las provincias deficitarias representa la mayor parte del transporte, con un valor de 788 km recorridos (figura 9A, recirculación nacional). Esto indica que la mayor parte del transporte relacionado con el consumo alimentario del mejillón fresco ocurre dentro de las fronteras nacionales. Además, la parte principal del transporte que se lleva a cabo en territorio nacional involucra camiones de poco tonelaje (3.5–7 t, Tabla 6) que recorren un promedio de 606 km. Esto tiene implicaciones importantes desde una perspectiva de sostenibilidad, ya que los vehículos más grandes tienden a tener una huella de carbono por masa transportada más baja. En cuanto al mejillón fresco utilizado por la industria, la contribución principal en términos de distancia proviene de las importaciones, ya que las distancias recorridas por la producción nacional son muy bajas debido a la proximidad entre las industrias y las zonas de producción gallegas (figura 9B).

En el caso del mejillón congelado y en conserva se observan dinámicas diferentes en la DMP. En primer lugar, la importación de mejillón congelado, principalmente de Nueva Zelanda, que se destina tanto para el consumo como para su uso industrial, tiene un impacto significativo en la DMP del mejillón congelado. Así, destaca la distancia recorrida de 1.000 km hasta los puntos de entrada, 52 km hasta las provincias importadoras y 6 km hasta las provincias de consumo cuando se trata de las importaciones (figura 9C). Sin embargo, el hecho de que el mejillón congelado destinado al consumo deba distribuirse a todas las provincias desde las provincias de fabricación y que la contribución de la fabricación nacional a la disponibilidad neta sea mayor que la importación, también hace que la fase de recirculación sea muy relevante con 729 km, mucho más relevante que en el caso de su uso como materia prima (figura 9D).

La relevante contribución de las importaciones a la disponibilidad neta, principalmente desde Chile (figura 8A) supone una aportación significativa a la DMP, con 5 348 km recorridos en barco y 159 km adicionales por carretera en el origen (figura 9E). Este flujo, que constituye la principal contribución a la DMP de los productos en conserva, se complementa con 213 km de transporte nacional de las importaciones hasta las provincias importadoras, 34 km de recirculación de productos importados hasta las provincias consumidoras, y

otros 486 km de productos de fabricación nacional. Esto se debe a la contribución de las Islas Canarias, cuyas provincias consumen una cantidad considerable de productos procesados y se encuentran geográficamente más alejadas del resto de las provincias.

Por lo tanto, la DMP del mejillón en conserva para el consumo es la más significativa en comparación con otros productos, principalmente debido a la contribución de las importaciones (5 507 km). El segundo factor más importante en términos de distancia es la recirculación nacional, especialmente en los productos destinados al consumo, que oscila entre 486 km para el mejillón en conserva y 719 km para el mejillón congelado. La DMP más baja se asocia con el mejillón fresco utilizado como materia prima industrial, ya que las industrias se ubican cerca de las zonas de producción, como se mencionó anteriormente.

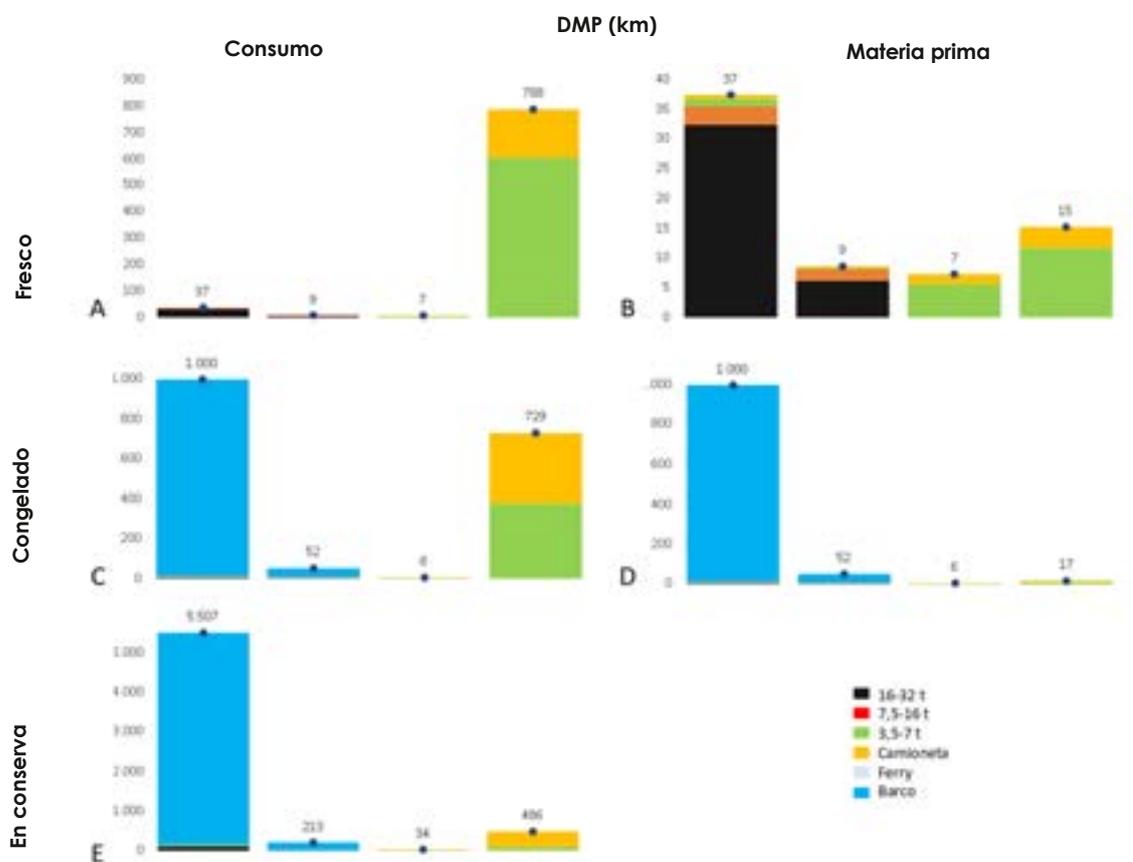


Figura 9. Distancia media ponderada (DMP), expresada en km, desagregadas por cada uno de los productos y para cada tipo de vehículo. Se indican los tipos de vehículos usados para cada tramo, distinguiendo en cada figura la fase de la cadena. El transporte internacional es el recorrido desde las zonas de producción/procesamiento en terceros países hasta los puntos de entrada internacional de España. El transporte nacional implica los puntos de conexión entre los puntos de entrada y las provincias destino de la importación, lo que se indica como «Nacional (importación)». El transporte de recirculación es debido a los intercambios interprovinciales para abastecer la industria o el consumo provincial, y tiene dos componentes: el debido a los flujos procedentes de la importación (recirculación (importación)) o el asociado a los productos con origen España (recirculación (nacional)). Consumo se refiere a aquellos productos destinados al consumo nacional mientras que materias primas se refieren a aquellos productos utilizados por la industria (mejillón fresco y congelado) que sirven para fabricar los productos procesados para el consumo en España, es decir, mejillón congelado y en conserva.

3.3.2.2. Distancia media ponderada del transporte de distribución a los puntos de venta

En la figura 10 se representa la DMP a nivel provincial de la distribución desde los centros logísticos hasta los diferentes puntos de venta. La DMP varía entre los 261.2 km de Teruel y los 17.3 km de Sevilla (figura 10). El valor medio ponderado según el consumo alimentario de cada provincia asciende a 96.7 km, un valor inferior a la media (136.8 km) precisamente porque aquellas provincias con mayor consumo suelen ser las más pobladas y las que mayor infraestructura poseen, acortando las distancias de reparto a cada CP.



Figura 10. Distancias medias ponderadas (DMP) asociadas al reparto desde los centros logísticos a los puntos de venta. Se representa la DMP provincial considerando la cuota de mercado de los centros logísticos donde se almacenan los productos, la densidad de superficie comercial en cada código postal como indicador de la demanda ponderada (CP) y las distancias recorridas (ver metodología).

3.3.2.3. Distancia media ponderada del transporte de distribución a los hogares

Teniendo en consideración los cálculos realizados en los apartados 2.5 y 2.6, la distancia media ponderada estimada para el reparto desde cada punto de venta hasta los hogares es de 3.3 km. Los productos transportados por vehículo privado suponen 6.4 km de DMP, mientras que aquellos en los que se utiliza el transporte público (autobús principalmente) supone 6.9 km. Los transportes hechos a pie suponen 1.2 km de distancia.

3.3.2.4. Distancia media ponderada total de la disponibilidad neta

Teniendo en consideración los cálculos realizados en los apartados anteriores para los límites del sistema LS2, en la figura 11 se muestran los recorridos asociados a la DMP correspondientes al mejillón fresco, congelado y en

conserva. Como puede observarse, los productos destinados a materias primas recorren 68 km en el caso del mejillón fresco destinado a la industria de productos congelados y en conserva, mientras que en el mejillón congelado destinado a la fabricación de mejillón en conserva recorren 1 074 km.

En el caso de productos destinados al consumo final, el mejillón fresco es el que menor distancia recorre con 842 km, principalmente debido al transporte de recirculación nacional y de reparto a puntos de venta, mientras que en el caso de mejillón congelado asciende a 1 787 km, de los cuales más de la mitad es consecuencia de la importación. En el caso del mejillón procesado destinado a la industria, la distancia asciende a 6 265 km debido principalmente al transporte de importación (87%).

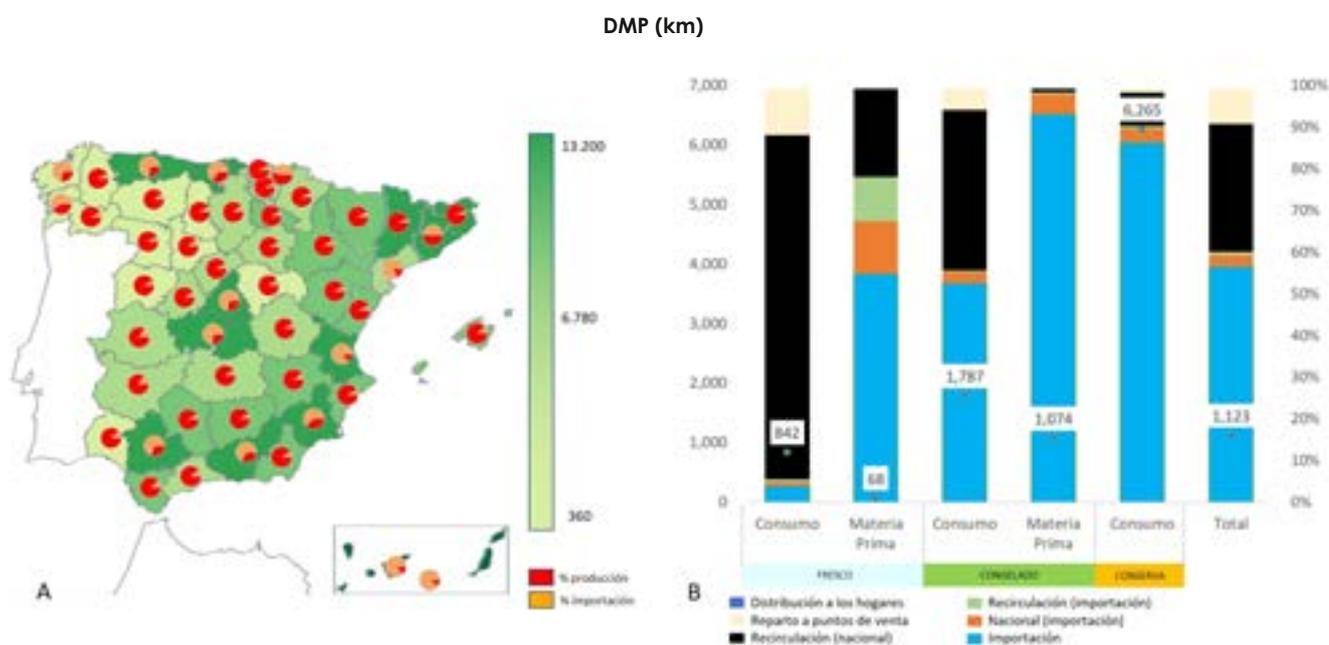


Figura 11. Distancia media ponderada (DMP) de la cadena del mejillón. A) DMP para cada provincia, y contribución de la producción o la importación a esa medida (sectores). B) DMP total de cada uno de los flujos, considerando desde el origen internacional hasta los hogares, para cada producto y dependiendo de si tiene por destino el consumo alimentario o la fabricación de mejillón congelado o en conserva. Las barras representan el reparto del valor total, siendo el valor total a su vez está representado en los puntos verdes (DMP total).

Al analizar la Distancia Media Ponderada ('DMP') a nivel provincial (figura 11B), es evidente que las dos principales provincias productoras, A Coruña y Pontevedra, presentan DMP más bajas, a pesar de la contribución de las importaciones. Esto se debe a que el flujo de importación es considerablemente menor que la producción local en estas provincias, lo que reduce el impacto de las largas distancias recorridas desde Nueva Zelanda o Chile para los productos congelados y en conserva. Del mismo modo, las provincias con la DMP más elevada son aquellas que reciben mayor contribución de importación desde estos países.

3.4. Consumo de mejillón

En España se consume un total de 90.7 kt de mejillón en sus diferentes presentaciones, incluyendo el peso de la concha del mejillón fresco. El producto más consumido es el mejillón fresco (62.2 kt), seguido del mejillón en conserva (26.4 kt) y por último el mejillón congelado (2.1 kt). En cuanto al mejillón en conserva, se consume principalmente en escabeche (23.7 kt), y en menor medida (2.7 kt) en salmuera. El consumo de carne de mejillón asciende a 30.0 kt.

El consumo per cápita anual, es de 1.29 kg de mejillón fresco; 0.44 kg de mejillón en escabeche; 0.09 kg de mejillón congelado y 0.05 kg de mejillón en salmuera. Las provincias gallegas destacan por su alto consumo de mejillón fresco (2.14 kg), seguidas de Asturias (2.01 kg) y Cantabria (1.96 kg). En lo que respecta al producto congelado, Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife son las provincias con mayor consumo (0.14 kg), seguidas de La Rioja (0.09 kg). En cuanto al producto en conserva, Cantabria es la comunidad autónoma protagonista, con 0.70 kg de mejillón en escabeche y 0.08 kg de mejillón en salmuera, seguida de las provincias extremeñas, Cáceres y Badajoz (0.69 kg de mejillón en escabeche y 0.08 kg de mejillón en salmuera).

El consumo medio anual de carne de mejillón asciende a 0.65 kg, con una contribución de 0.31 kg de mejillón en escabeche, 0.27 kg de mejillón fresco, 0.05 kg de mejillón congelado y 0.03 kg de mejillón en salmuera (figura 12A). Destaca Cantabria como la mayor consumidora de carne de mejillón, con 0.94 kg por persona (figura 12B).

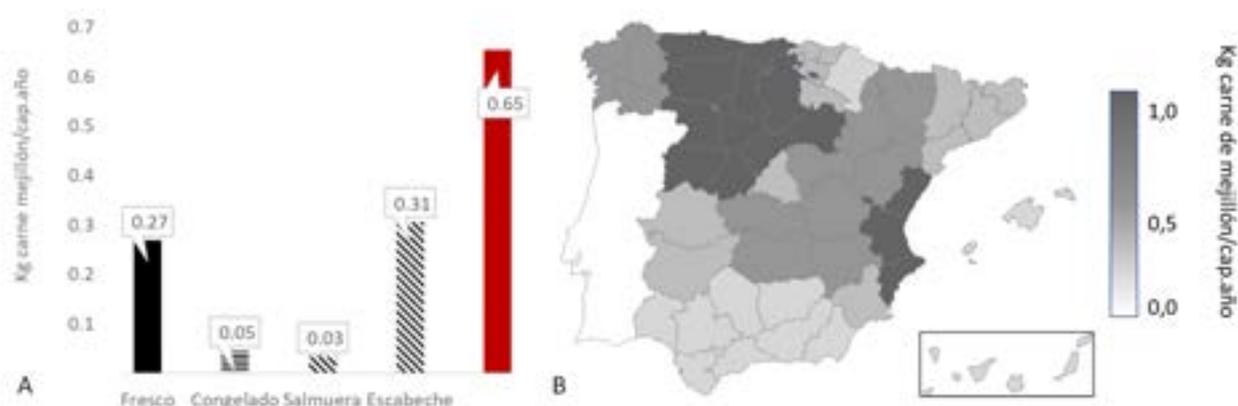


Figura 12. Consumo de carne de mejillón dependiendo del producto de consumo (A) y consumo total provincial de carne de mejillón per cápita (B). Figura A: en rojo se representa el consumo total de carne de mejillón.

3.5 Emisiones de la cadena alimentaria del mejillón (LS1)

Considerando los límites del sistema LS1, el conjunto de la cadena alimentaria del mejillón emite 287.8 GgCO₂eq, destacando las contribuciones de la producción de mejillón fresco (44% de las emisiones totales; 126.4 GgCO₂eq), las transformaciones industriales (43%; 123 GgCO₂eq), y el transporte (13%; 34.9 GgCO₂eq) como principales componentes (figura 13A-B). Únicamente el 1% de las emisiones (3.5 GgCO₂eq) son debidas a producción importada de mejillón fresco hacia España. Las emisiones asociadas a la transformación en el tejido industrial de España suponen un 22% (63.7 GgCO₂eq), mientras que la transformación en terceros países supone un 21% (59.3 GgCO₂eq). El 76% de las emisiones de la industria de la transformación son debidas a la fabricación de mejillón en escabeche (48.2 GgCO₂eq). Este producto también implica el 90% de las emisiones de la transformación importada (53.4 GgCO₂eq). De las emisiones asociadas al transporte, el 58% están asociados al mejillón fresco (20.2 GgCO₂eq), seguido de las emisiones del mejillón en escabeche (35%; 12.3 GgCO₂eq). Por la pequeña magnitud de la importación de mejillón fresco con respecto al mejillón producido en España, el 99% de las emisiones de su transporte está asociado al transporte nacional.

El 66% (190,1 GgCO₂eq) de las emisiones están asociadas al mejillón que finalmente se consume por la población española y el 29% (83.8 GgCO₂eq) con las exportaciones. Asimismo existe un 5% (13.9 GgCO₂eq) de emisiones que están vinculadas a productos transformados que finalmente no se destinan al consumo humano ni a las exportaciones (figura 13C).

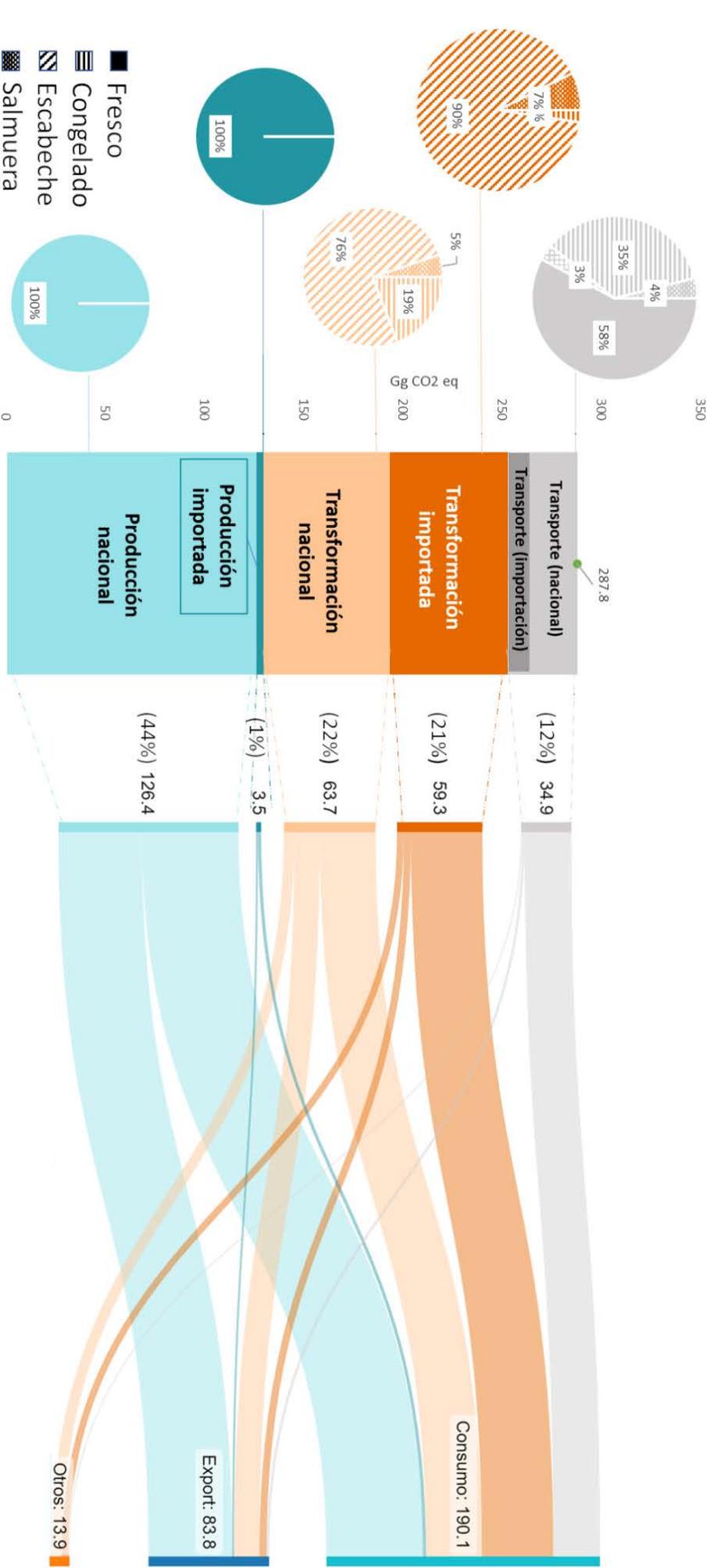


Figura 13. Emisiones totales de la cadena alimentaria del mejillón. A: Contribución de cada subcadena a las emisiones de cada etapa (para la conserva se diferencia el escabeche de la salmuera); B: desglose de las emisiones por cada fase; C: destino de las emisiones. En el flujo de exportación no se han considerado los transportes internacionales a destino. Por producción nos referimos a producción nacional y por importación a producción en terceros países.

3.5.1 Mejillón fresco

La cadena alimentaria del mejillón fresco supone 71.1 GgCO₂eq emitidos a la atmósfera, de las que el 70% (49.6 GgCO₂eq) se deben a la propia actividad de producción acuícola (figura 14). Estas emisiones incluyen exclusivamente el mejillón fresco como producto consumido y exportado, por lo que no incluyen las emisiones de su producción como materia prima para la industria. El 27% de las emisiones (24.7 GgCO₂eq) corresponden al transporte. De éste, el 14% se debe al transporte de recirculación (9.9 GgCO₂eq), el 9% a la distribución final del producto (6.7 GgCO₂eq), es decir a los puntos de venta, los hogares y establecimientos de consumo extradoméstico, y el 4% al transporte internacional y nacional agrupados (2.7 GgCO₂eq). El 3% restante de las emisiones de mejillón fresco se debe a la importación del producto (2.2 GgCO₂eq).

Del total de emisiones asociadas a este producto, el 71% (50.8 GgCO₂eq) corresponde al consumo nacional mientras que el 29% (20.3 GgCO₂eq) está asociado al mejillón fresco que se exporta al extranjero (figura 14). Esto implica que, aunque la mayor cantidad de emisiones se corresponda con la producción del propio mejillón consumido en España, el transporte de importación de mejillón fresco desde el extranjero, el transporte nacional, de recirculación y el de distribución final de manera agrupada suponen el 37% de las emisiones asociadas al consumo de mejillón fresco en España (18.8 GgCO₂eq).

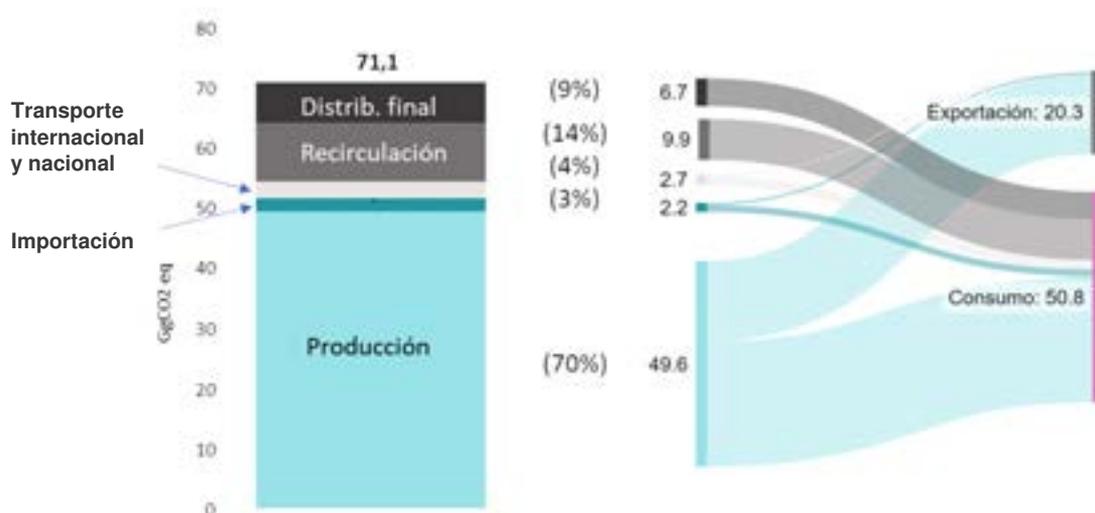


Figura 14. Emisiones totales de la subcadena del mejillón fresco y desagregadas según la fuente de emisión (Producción, Importación y Transporte) y por flujos según el destino final (Exportación y Consumo). Se han agregado los flujos menores a 0.3 GgCO₂eq en categorías relacionadas, como el transporte internacional y el nacional asociado, y la distribución a puntos de venta y el reparto a los hogares bajo la categoría «distribución final».

3.5.2 Mejillón congelado

En el caso de la cadena alimentaria del mejillón congelado las emisiones ascienden a 49.7 GgCO₂eq (figura 15). El 71% corresponde a las emisiones asociadas a la producción del mejillón fresco que se utiliza como materia prima en la industria (35.1 GgCO₂eq). Destacan también las emisiones asociadas a la transformación del mejillón fresco en mejillón congelado que alcanzan el 23% (11.3 GgCO₂eq). Por otro lado, la transformación asociadas a la importación y el transporte suponen el 3% (1.3 GgCO₂eq) y el 2% (1.2 GgCO₂eq) de las emisiones.

Del total de emisiones asociadas a este producto, el 85% (42.2 GgCO₂eq) corresponden al mejillón congelado comercializado fuera del país, mientras que el 15% (7,5 GgCO₂eq) están asociadas al consumo nacional (figura 15).

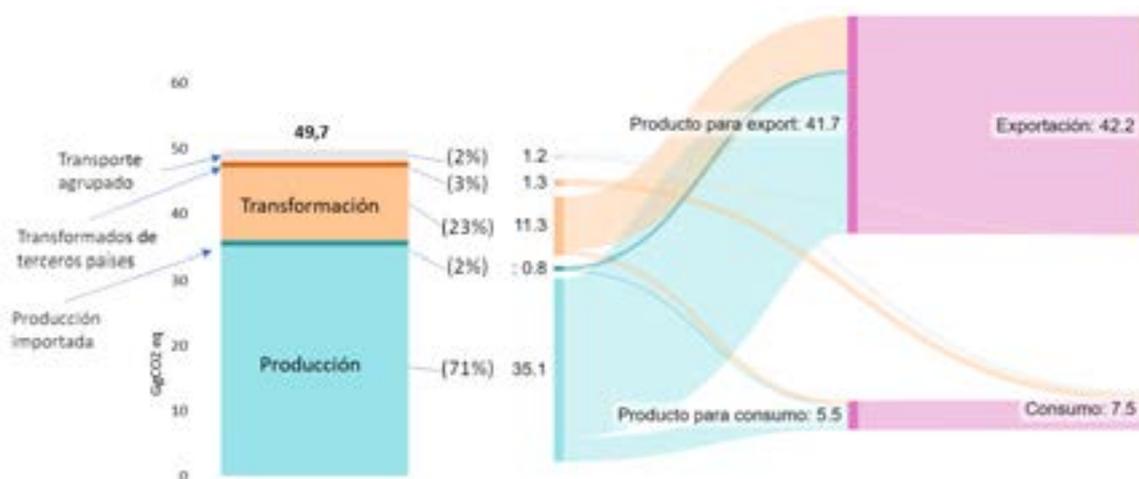


Figura 15. Emisiones totales de la subcadena del mejillón congelado y desagregadas según la fuente de emisión (Producción, Importación, Transformación y Transporte) y por flujos según el destino final (Exportación y Consumo). Se han agregado los flujos menores a 0.3 GgCO₂eq en categorías relacionadas como en el caso del transporte.

3.5.3 Mejillón en salmuera

El mejillón en salmuera supone unas emisiones de 13.7 GgCO₂eq (figura 16). El 32% de las emisiones se deben a las importaciones (4.3 GgCO₂eq) y el 31% a la producción del mejillón fresco utilizado como materia prima por la industria (4.1 GgCO₂eq). El 25% de las emisiones se deben al proceso de transformación del mejillón fresco y mejillón congelado en mejillón en salmuera (3.4 GgCO₂eq). De esta manera observamos cómo los procesos industriales de transformación, independientemente de si son en la industria española o en el

extranjero, suponen el 57% de las emisiones totales (7.7 GgCO₂eq), siendo el factor que mayor peso tiene en esta cadena. Cabe destacar que el flujo de importación asociado a productos transformados es debido principalmente a mejillón en salmuera listo para consumir (4.4 GgCO₂eq), con apenas 0.1 GgCO₂eq asociadas a mejillón producido y congelado en el extranjero para ser importado y usado como materia prima en la fabricación de mejillón en salmuera. El transporte supone el 12% de las emisiones. De estas, 0.7 GgCO₂eq son debidas al transporte de importación de materias primas y productos transformados de manera agrupada, mientras que el transporte nacional, de recirculación y de distribución final suponen 1.2 GgCO₂eq.

Del total de emisiones asociadas a este producto, el 55% corresponde al consumo (10.9 GgCO₂eq), mientras que el 13% está asociado a la exportación (figura 16). Asimismo, cabe destacar que parte de este producto se destina a otros usos (1.0 GgCO₂eq), principalmente piensos para la cabaña ganadera en España.

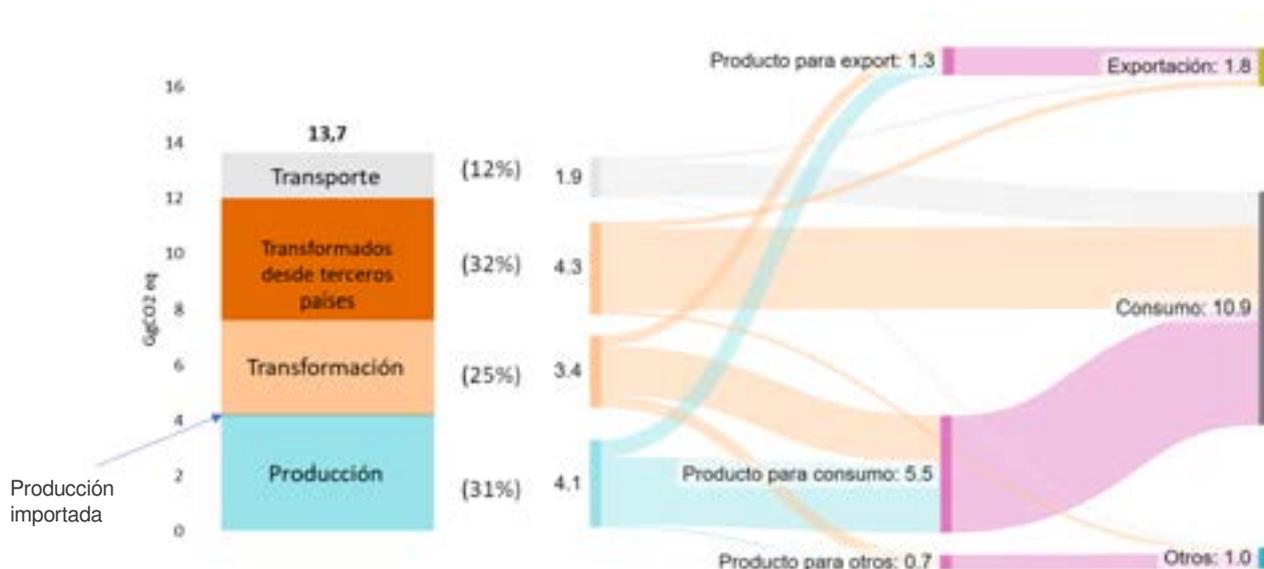


Figura 16. Emisiones totales de la subcadena del mejillón en salmuera y desagregadas según la fuente de emisión (Producción, Importación, Transformación y Transporte) y por flujos según el destino final (Exportación, Consumo y Otros). Se han agregado los flujos menores a 0.3 GgCO₂ eq en categorías relacionadas como en el caso del transporte.

3.5.4 Mejillón en escabeche

El conjunto de la cadena alimentaria del mejillón en escabeche supone la emisión de 155.4 GgCO₂eq a la atmósfera (figura 17). El 34% de estas emisiones se debe a la transformación en la industria extranjera (53.4 GgCO₂eq), el 32% a la industria nacional (49.1 GgCO₂eq), y el 24% a la producción de mejillón

fresco para su uso como materia prima (37.5 GgCO₂eq). La industria nacional presenta emisiones asociadas tanto a la propia producción de la conserva (48.2 GgCO₂eq), como a la producción de mejillón congelado usado como materia prima para la fabricación de mejillón en escabeche (0.9 GgCO₂eq). La industria extranjera lleva asociadas 0.2 GgCO₂eq debidas a la producción. El 10% del conjunto de las emisiones se debe al transporte, considerado de manera agrupada desde el transporte internacional hasta el reparto final (15.0 GgCO₂eq). De estas emisiones, la mayor contribución procede del transporte nacional y de recirculación (6.4 GgCO₂eq, 43% de las emisiones del transporte), seguido del transporte de importación (5.9 GgCO₂eq, 40% de las emisiones del transporte), y del transporte a puntos de distribución y a los hogares (2.5 GgCO₂eq, 16%).

El 79% de las emisiones de la cadena del mejillón en escabeche está asociado al consumo (123.2 GgCO₂eq), mientras que el 12% (19.4 GgCO₂eq) es debido a la exportación (figura 17). Aquí también observamos la utilización de este tipo de productos en otros destinos, con 12.8 GgCO₂eq (8,2%).

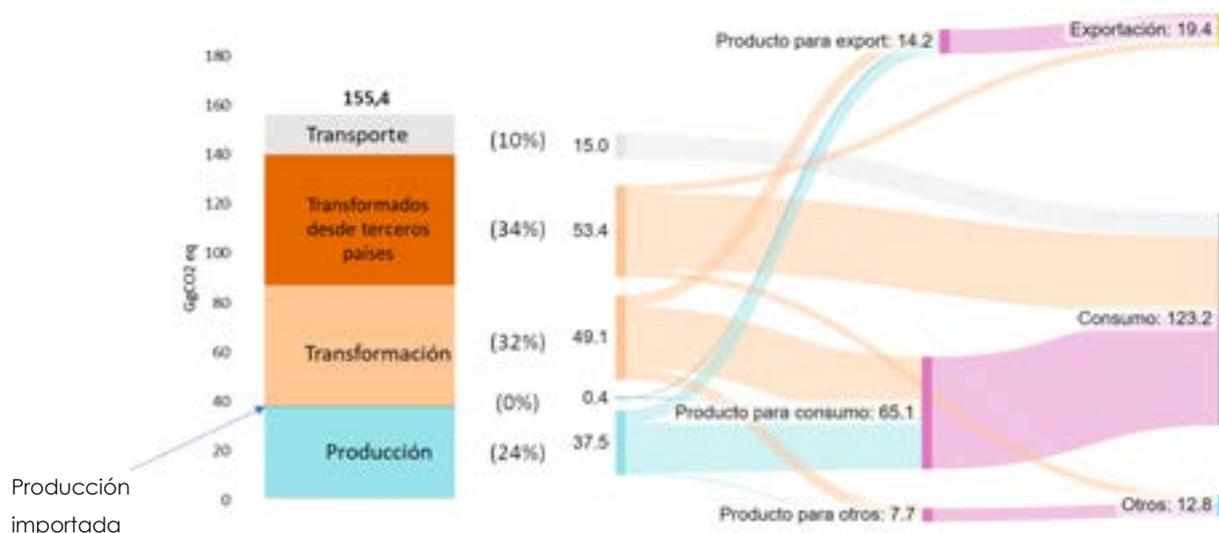


Figura 17. Emisiones totales de la subcadena del mejillón en escabeche y desagregadas según la fuente de emisión (Producción, Importación, Transformación y Transporte) y por flujos según el destino final (Exportación, Consumo y Otros). Se han agregado los flujos menores a 0.3 GgCO₂eq en categorías relacionadas como en el caso del transporte.

3.6 Emisiones del consumo de mejillón en España

El total de emisiones del consumo de carne mejillón en España asciende a 190.1 GgCO₂eq. De ellas, el 46% es debido a los procesos de procesamiento y transformación, el 36% a la producción miológica y el 17% al transporte (figura 18). Esto supone que por cada kilogramo de carne consumida se emitan 6.3 KgCO₂eq.

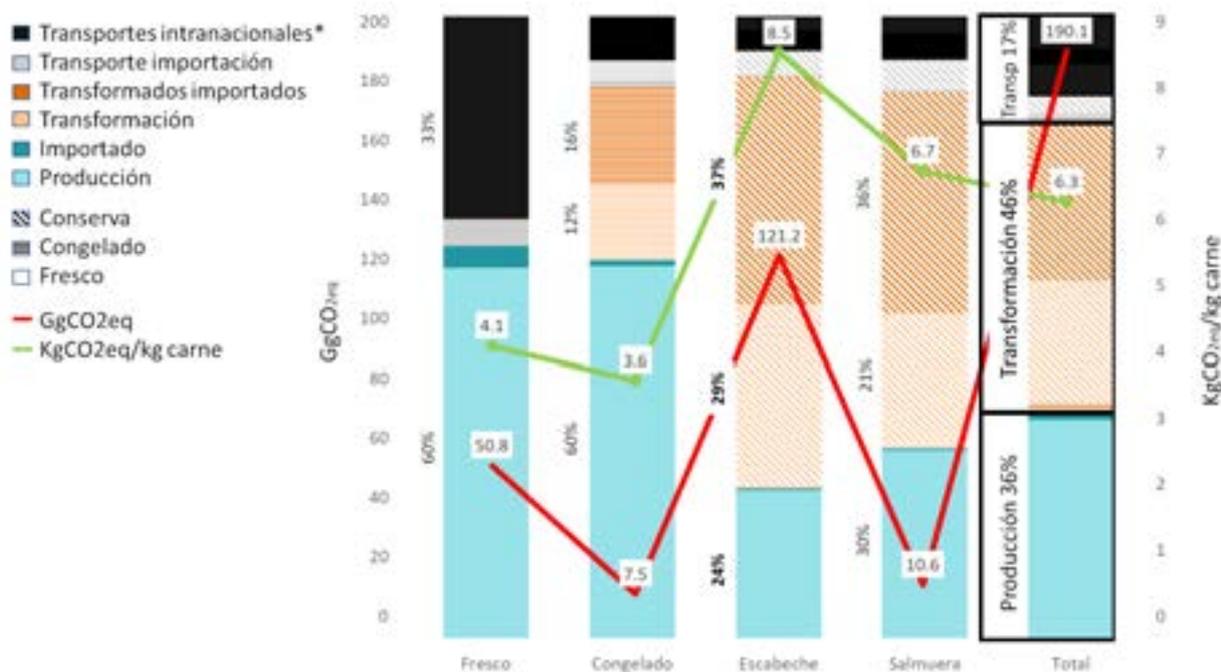


Figura 18. Emisiones asociadas al consumo de mejillón en sus distintas presentaciones.

Contribución relativa de cada una de las etapas para cada uno de los productos (barras al 100%), junto con las emisiones netas de cada una de las cadenas del consumo en España (eje izquierdo, línea roja) y las emisiones relativas a la unidad funcional (1 kg de carne de mejillón) para cada producto (eje derecho, línea verde).

*: el transporte intranacional agrupa el transporte nacional, la recirculación, la distribución final y la distribución hasta los hogares. La etapa de transformación incorpora tanto la contribución de transformación del mejillón congelado para ser consumido por la población como para ser utilizado como materia prima para la fabricación de productos en conserva.

En primer lugar, el valor asociado a la transformación asciende a 88.4 GgCO₂eq (46% de las emisiones totales), lo que supone 2.9 KgCO₂eq por cada kilogramo de carne. De estas, el mayor factor es el asociado a la transformación de mejillón importado ya procesado, que supone el 16% de las emisiones del mejillón congelado (1.2 GgCO₂eq), el 37% para el mejillón en escabeche (44.5 GgCO₂eq) y el 36% para el mejillón en escabeche (3.8 GgCO₂eq). Todos los procesados con origen internacional implican una cantidad de 1.6 KgCO₂eq por kg de carne de mejillón, es decir, el 26% de las emisiones totales del consumo de este producto. El 20% restante de la partida asociada a las emisiones de transformación se encuentra asociado a la transformación en España, que suponen 38.8 GgCO₂eq (20% de las emisiones). Este valor es el resultado de la transformación industrial para la producción de mejillón en conserva (37.1 GgCO₂eq, de las que 34.9 GgCO₂eq están asociadas al mejillón en escabeche y 2.2 GgCO₂eq a la presentación en salmuera, 29% y 21% de las emisiones de sus respectivas cadenas), y a la transformación a mejillón congelado (1.7 GgCO₂eq, el 16% de las emisiones de su cadena). Todo ello implica que por cada kilo de carne de mejillón consumido en España, teniendo en cuenta todas sus presentaciones, 1.3 KgCO₂eq son atribuibles a la transformación industrial en territorio nacional, principalmente debido a las presentaciones en conserva.

En segundo lugar, destacan las emisiones de la producción con el 36% y 69.3 GgCO₂eq, lo que supone que por cada kilogramo consumido de carne de mejillón, independientemente de la presentación que sea, se emiten 2.3 kgCO₂eq. De estas emisiones, sólo 32.1 GgCO₂eq se encuentran asociadas al consumo de mejillón fresco, estando compuestas principalmente por las emisiones de producción nacional (60% de las emisiones, 30.3 GgCO₂eq), y una pequeña contribución de la importación (4% de las emisiones, 1.8 GgCO₂eq). De este modo, la mayor contribución de estas emisiones se encuentra asociada al uso de mejillón fresco como materia prima en el resto de presentaciones, 37.2 GgCO₂eq, distribuidos entre el mejillón congelado (4. GgCO₂eq de producción nacional y 0.1 GgCO₂eq de importaciones), el mejillón en escabeche (29.1 GgCO₂eq y 0.3 GgCO₂eq de producción nacional e importación respectivamente) y mejillón en salmuera (3.1 GgCO₂eq y 0.1 GgCO₂eq de producción nacional e importación respectivamente).

El transporte representa el 17% de las emisiones totales del consumo de esta cadena alimentaria (32.4 GgCO₂eq), lo que supone 1,1 KgCO₂eq por cada kilogramo de carne de mejillón. De estas, la recirculación implica el 8% de las emisiones (14.8 GgCO₂eq), la mayor contribución dentro de la partida del transporte. Este valor es consecuencia principalmente del transporte del mejillón en fresco para su consumo (9.9 GgCO₂eq, lo que supone el 19% de las emisiones de esta presentación) y al mejillón en escabeche (3.9 GgCO₂eq). En segundo lugar, destaca el transporte de distribución, que alcanza los 9.7 GgCO₂eq, lo que supone el 29% de las emisiones asociadas al transporte total y el 5% de las emisiones totales. Los factores fundamentales aquí son la distribución del mejillón fresco (6.7 GgCO₂eq) y en escabeche (2.5 GgCO₂eq). Por último, se sitúa el transporte de importación, que alcanza los 8 GgCO₂eq, principalmente asociados al mejillón en conserva (4.6 GgCO₂eq del mejillón en escabeche y 0.5 GgCO₂eq del mejillón en salmuera) y a la importación de mejillón fresco (2.6 GgCO₂eq).

Las emisiones asociadas al consumo de mejillón congelado en España ascienden a 7.5 GgCO₂eq, de las que el 60% se derivan de la producción de mejillón fresco (4.5 GgCO₂eq). El hecho de que este producto sea transformado requiere de una contribución a las emisiones asociadas a la transformación, tanto en España (0.9 GgCO₂eq, el 12% de las emisiones en este tipo de producto) como en el extranjero (16% de emisiones, 1.2 GgCO₂eq). Además, el transporte agrupado necesario para el consumo en España supone el 11% de las emisiones de esta cadena (0.8 GgCO₂eq y 0,4 KgCO₂eq por kg de carne de mejillón congelado). Todo ello supone que para consumir un kilo de carne de mejillón congelado se emitan 3.6 KgCO₂eq.

En cuanto a los productos en conserva, cabe señalar que el mejillón en salmuera y en escabeche emiten 32.3 GgCO₂eq como consecuencia de la producción del mejillón fresco necesario para su fabricación, es decir, utilizado como materia prima. Esto supone 2 kgCO₂eq por kg de carne de mejillón usado como insumo para la industria conservera. No obstante, dentro del mejillón en conserva, la mayor partida se encuentra asociada a la transformación industrial, donde la fabricación industrial de mejillón en

salmuera en España suponen 2.5 kgCO₂eq por kg carne de mejillón en escabeche y 1.4 kgCO₂eq por kg carne de mejillón en salmuera. Además, el importante componente de importación asociado a los productos en conserva hace que sea el valor de la transformación importada el que mayor peso tiene en estos productos, con 3.1 kgCO₂eq por kg carne de mejillón en escabeche y de 2.4 kgCO₂eq por kg carne mejillón en salmuera. Considerando todas las contribuciones asociadas a los productos en conserva se observa que por cada kilogramo de carne de mejillón en escabeche consumido se emiten 8.5 kgCO₂eq y en el caso de la salmuera, el valor es de 6.7 kgCO₂eq.

4. Discusión

Este estudio arroja luz sobre varios aspectos cruciales relacionados con la cadena de producción y transporte de mejillón y su impacto ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.

En 2017, España tuvo una disponibilidad de 276 kt de mejillón fresco, compuesta de 270 kt de mejillón producido en el país y 6 kt importados. La disponibilidad de mejillón en conserva fue de 37 kt, con 25 kt producidas por la industria nacional y 12 kt importadas. La disponibilidad de mejillón congelado alcanzó las 16.3 kt con 15.4 kt producidas en España y 0.9 kt importadas. Los resultados de este informe indican que la producción, transformación y transporte de mejillón supusieron unas emisiones totales de 287.8 GgCO₂eq. El 45 % de estas emisiones se deben a la producción de mejillón fresco, que incluyen el 1% importado, y alcanza los 129.9 GgCO₂. El 43% de las emisiones, que alcanzan los 123 GgCO₂eq, se deben a la transformación industrial, que incluye las emisiones de la industria nacional (63.7 GgCO₂eq, 22%) y las emitidas indirectamente por la transformación incluida en la importación de productos desde el extranjero (59.3 GgCO₂eq, 21%). El transporte supone el 12% de las emisiones con 34.9 GgCO₂eq.

La cadena alimentaria de mejillón en España se caracteriza por tres aspectos relevantes: 1) una parte importante de la producción de mejillón fresco y congelado se destina a materia prima de la industria conservera, de tal modo que 166 kt (60%) se dirigen a la fabricación de mejillón congelado y en conserva (76 y 90 kt respectivamente); 2) una parte importante de la producción de mejillón congelado se exporta. Así el 15% del mejillón (42 kt) entra en los circuitos de exportación, con una importante contribución del mejillón congelado (12 kt), lo que suponen el 72% de su producción total (15.4 kt); y 3) la alta dependencia de las importaciones de mejillón en conserva para abastecer el consumo, de tal modo que la industria conservera registró una producción de 25 kt e importó 12 kt. De estas observaciones, cabe señalar tan solo el 25%, es decir 68 kt, de mejillón fresco disponible se destina al consumo nacional.

En cuanto a las emisiones de la cadena se puede destacar que: 1) las emisiones asociadas a la producción mitilícola en España se encuentran en gran medida vinculadas al uso por parte de la industria para la fabricación de mejillón transformado (76.8 GgCO₂eq de las 126.4 GgCO₂eq de la producción en España); 2) los procesos industriales en España y en el extranjero suponen el mayor impacto en término de emisiones (63.7 GgCO₂eq de la industria española y 59.3 GgCO₂eq de la industria internacional); 3) los impactos de la cadena en su conjunto se encuentran asociados en gran medida tanto a los flujos de exportación (59.3 GgCO₂eq) como a los consumos alimentarios (69.3 GgCO₂eq).

Estos datos ponen de manifiesto que la producción de mejillón fresco no está necesariamente orientada hacia el consumo final, sino que una parte importante se utiliza como materia prima en la industria transformadora de mejillón congelado y en conserva que tiene como destino final la exportación.

A pesar de que la producción nacional de la industria podría satisfacer el consumo de productos de las tres presentaciones analizadas en el informe (congelado, salmuera y escabeche), se observa una dependencia de la importación, principalmente del mejillón en conserva (equivalente al 69% de la cantidad producida en toda España) y en menor medida del mejillón congelado (equivalente al 9% de la producción nacional). Esto refleja la prioridad que se da al desarrollo del comercio internacional sobre la necesidad de alcanzar autosuficiencia alimentaria en España. Esta estrategia, predominantemente centrada en la obtención de beneficios económicos, conduce, necesariamente, a una menor capacidad de resiliencia de la cadena alimentaria de mejillón al depender, en gran medida, de flujos internacionales para el abastecimiento alimentario. Ello puede suponer una mayor vulnerabilidad frente a cambios, no solo de las políticas alimentarias de terceros países que puedan modificar su destino de exportación a razón de mayores precios o aumento de la demanda, sino también a subestimar el potencial de la industria española para fomentar el consumo de cercanía y la puesta en valor de la industria nacional.

A nivel agregado de la cadena alimentaria se confirma la alta concentración geográfica del sector mitilícola, con Galicia a la cabeza en términos de producción (99%), transformación (98%) y comercio internacional de mejillón (62% de las importaciones y 82% de las exportaciones), por lo que esta CCAA desempeña un papel fundamental en la red global de comercio de mejillón, exportando productos de las tres presentaciones, especialmente mejillón fresco y congelado. Además, se ha identificado la importancia de la importación de productos congelados de Nueva Zelanda como principal exportador a España (0.7 kt), entrando principalmente por Valencia, A Coruña y Barcelona, mientras que el flujo más relevante de importación de productos procesados es el de las conservas, con las provincias gallegas, pero también provincias como Madrid, Málaga, Valencia o Barcelona, como puertas de entrada de productos procedentes de terceros países, principalmente Chile (11.9 kt). Por lo tanto, a nivel provincial se observa que tanto la producción, como la industria y el comercio internacional se encuentra especializada en la región noroeste de España, aunque se presentan flujos de importación relevantes en provincias que no producen ni transforman industrialmente, pero que abastecen a la población con productos procesados procedentes del extranjero.

Esta interconexión global tiene su repercusión en las distancias recorridas por los productos, en particular cuando se observa el destino de los flujos de producción e importación de productos usados tanto para el abastecimiento de la población como para su uso como materia prima en procesos industriales. Así, de los productos consumidos en España el mejillón fresco es el que tiene una menor distancia media ponderada (DMP), con 842 km, seguido del congelado con 1 787 km y a mayor distancia las conservas con 6 265 km. Además, los productos utilizados como materia prima también recorren distancias relevantes, destacando en particular el mejillón congelado con 1 074 km. La mayor distancia de los productos congelados y en conserva tiene que ver tanto con las distancias de los principales países que exportan a España (23 432 km de Nueva Zelanda para los productos congelados y 14 158 km de Chile para los productos en conserva), como con la dependencia de

las conservas de las importaciones, que llega a alcanzar el 32% de la producción. Estas distancias suponen un doble factor de riesgo para las cadenas de abastecimiento, tanto por la dependencia principalmente de combustibles fósiles para conectar los centros de producción con el consumo en un escenario de creciente volatilidad de los precios, como por los niveles de emisiones asociados al transporte en semejantes distancias.

En términos de consumo, es importante destacar que el formato en conserva representa la principal fuente de proteína del mejillón en España, con 0.34 Kg de carne de mejillón por persona al año, que procede en un 45% de terceros países, principalmente Chile. Es decir, la principal aportación de proteínas del mejillón en España tiene un elevado nivel de internacionalización y de procesamiento, con consecuencias tanto en la actual fragilidad de las cadenas globales de comercialización, como por el impacto ambiental asociado (8.5 KgCO₂eq por kg de carne para el mejillón en escabeche y 6.7 KgCO₂eq para el mejillón en salmuera). El mejillón fresco representa el 41% del consumo de carne de mejillón en España y es una fuente importante de proteínas, con un valor de 4.1 KgCO₂eq por kg carne. Sin embargo, enfrenta desafíos en términos de concentración geográfica y emisiones asociadas al transporte, ya que el producto es transportado por todo el país, lo que conlleva una serie de emisiones de transporte de recirculación interprovincial importantes (9.9 GgCO₂eq, 19.5% de las emisiones del consumo de producto en España). Aquí, el peso de la concha transportada que no es comestible supone un peso adicional que resta eficacia a la hora de efectuar el transporte, aunque también pueda existir margen de maniobra para mejorar los manejos para reducir la huella asociada a las técnicas de producción acuícola. Finalmente, la presentación menos consumida es el mejillón congelado, siendo la que genera menores emisiones por unidad de carne consumida (3.6 KgCO₂eq.kg carne⁻¹), entre otras cosas porque se transporta la carne exclusivamente sin la concha y además su procesamiento industrial no es tan intensivo como en el caso de los productos en conserva. El bajo nivel de consumo puede tener que ver efectivamente con el gran flujo de exportación de esta presentación, como indicamos anteriormente. Por lo tanto, es característico que aquellos productos con mayor nivel de emisiones son los más consumidos, mientras que aquellos que se destinan a la exportación son los que presentan menor nivel de emisiones por kg de carne.

Cabe destacar que existe cierta controversia en cuanto al papel que juegan los bivalvos y su cultivo como potenciales mitigadores de los efectos del cambio climático en el ciclo del CO₂ (Ware *et al.*, 1992; Tamburini *et al.*, 2022). Los bivalvos liberan CO₂ durante los procesos de respiración y biocalcificación, al tiempo que secuestran C en forma de CaCO₃ en la concha (Filgueira *et al.*, 2019; Morris *et al.*, 2019; Ray *et al.*, 2018; Tamburini *et al.*, 2022). Algunos estudios han destacado el potencial de las conchas como sumideros de carbono, especialmente cuando se entierran en vertederos (Aubin *et al.*, 2014; 2018). Recientemente, Tamburini *et al.* (2022) indicó que por cada kilogramo de mejillón con concha que se deposita en un vertedero, el potencial de secuestro de la concha es de 0.146 kgCO₂, con esta gestión de los residuos. Además, el estudio sugirió que por cada kilogramo de mejillón, el balance de carbono retenido de la atmósfera con este manejo es de 91.0 kgCO₂eq. Por

otro lado, recientes investigaciones defienden que la formación de la concha puede tener efectos regulatorios en los ecosistemas marinos al contribuir al potencial secuestro de carbono (Jones *et al.*, 2022; Tamburini *et al.*, 2022). Otros usos promovidos desde la economía circular, para reducir las emisiones de la concha, consisten en su utilización en piensos para consumo animal o como CaCO_3 para la industria papelera, plástica o para la fabricación de cristales (Alonso *et al.*, 2021; Hyun Choi *et al.*, 2024). Sin embargo, si las conchas se incineran junto con residuos orgánicos, éstas pueden llegar a liberar entre 0.39 y 0.44 kgCO_2eq por kilogramo de concha (Alonso *et al.*, 2021). En este sentido, otras investigaciones concluyeron que el cultivo de mejillón es una importante fuente adicional de CO_2 , y por lo tanto la formación de conchas no puede ser parte del sistema de comercio de emisiones de carbono (por ejemplo, Munari *et al.* 2013). Por todo ello, los efectos de los bivalvos en el ciclo del carbono son más complejos que las simples ecuaciones de formación y disolución de conchas a escala individual, y las preguntas sobre sus implicaciones deben resolverse utilizando un enfoque ecosistémico que abarque las retroalimentaciones directas e indirectas (físicas, biológicas y biogeoquímicas) de los bivalvos sobre su entorno (Filgueira, 2015). Este debate condiciona la manera en la que se contabilizan las emisiones en sistemas complejos como el aquí analizado, más aún cuando su función de sumidero de carbono dependerá de la gestión de los residuos del consumo de este bivalvo, algo que se sitúa fuera de los límites de estudio. Aunque no disponemos de cifras oficiales aplicables para conocer el destino de los residuos, el hecho de que en España el 81% de residuos en los hogares sean residuos «mezclados» y solo el 35% de los residuos totales acaben en vertederos (INE, 2022), puede darnos una idea del reducido papel que puedan suponer las conchas del mejillón como sumideros de carbono.

Desde una perspectiva más amplia, esta investigación subraya los desafíos y oportunidades en la búsqueda de una producción y consumo de alimentos más sostenibles desde una aproximación que precisa cambios dietéticos para acompañar la transición alimentaria (Chai *et al.*, 2019, González-García *et al.*, 2018, Ivanova *et al.*, 2020), vinculados a pautas de consumo nutricional y culturalmente adaptadas al territorio (Castañé *et al.*, 2017). Estos cambios indican la necesaria sustitución de proteína procedente de productos ganaderos por otras fuentes alternativas (Baroni *et al.*, 2014). Para conocer con detalle la potencialidad asociada a esta sustitución, resulta fundamental disponer de estudios previos acerca de las emisiones asociadas a los productos alimentarios en España. El consumo de carne de mejillón según el funcionamiento actual de la cadena alimentaria supone 6.3 kgCO_2eq por kg de carne, siendo un valor muy inferior a la mayoría de productos de origen animal como los rumiantes (32.5 kgCO_2eq por kg de carne de vacuno y 28 kgCO_2eq por kg de carne de los pequeños rumiantes), aunque similar a la de los cerdos (6.6 kgCO_2eq por kg de carne) y superior a la de carne de pollo y merluza (4.4 kgCO_2eq por kg de carne), la leche (1.4–2.9 kgCO_2eq por kg de producto según el tipo de leche que sea), o los huevos (2.1 kgCO_2eq por kg de huevo) (Aguilera *et al.*, 2020; Martins-Aragao *et al.*, 2022; Saralegui *et al.*, 2023; Saralegui *et al.*, en prensa). Si observamos las distintas presentaciones, el consumo en España de mejillón fresco (4.1 kgCO_2eq por kg de carne) y mejillón congelado (3.6 kgCO_2eq por kg de carne) se encuentra por debajo

del valor de la carne de pollo y merluza, mientras que el consumo de conservas (8.5 kgCO₂eq por kg de carne para el escabeche y 6.7 kgCO₂eq por kg de carne para la salmuera) supera el valor de la carne de cerdo.

Si bien el mejillón es una fuente rica en proteínas y se considera un alimento relativamente sostenible en comparación con otras fuentes de proteínas animales, los resultados indican que todavía existen áreas de mejora. La alta concentración geográfica de la producción de mejillón, su orientación principalmente hacia uso industrial y la dependencia de las importaciones en algunas presentaciones, plantean cuestiones sobre la seguridad alimentaria, la sostenibilidad y la resiliencia de la cadena de suministro. Así, se hace necesario plantear medidas combinadas que aborden el nexo entre las localizaciones óptimas para la producción acuícola, la eficiencia de la distribución para abastecer el alimento, la reconversión y relocalización industrial y la modificación de los flujos comerciales internacionales. De un lado, las grandes producciones de las costas gallegas se destinan principalmente al uso industrial y a la exportación, y en último lugar al consumo. Las estrategias para promover el incremento del consumo local de producto fresco (la segunda presentación con menor huella de carbono) harán reducir las emisiones sólo en la medida en la que la fase de transporte (36% para esta presentación) pueda optimizarse acortando la cadena logística de manera eficiente. Esta estrategia está condicionada no solo por priorizar el consumo en fresco por encima del uso industrial y/o la exportación, sino también por la capacidad de producir en otros territorios siempre que las condiciones climáticas y los manejos obtengan niveles de emisiones similares a los que se presentan en la región gallega. Junto con ello, otra estrategia útil es la reconversión industrial orientada hacia incrementar la fabricación de aquellas presentaciones con menor huella de carbono, como el mejillón congelado, reduciendo a su vez la fabricación de las conservas. Esto tiene que ir acompañado de un cambio en los patrones de consumo: el mejillón en escabeche y salmuera son la principal fuente de proteína para el consumo humano de mejillón en España, por lo que promover el consumo congelado y reducir el consumo en conserva disminuirá la huella de carbono de la cadena de manera significativa, precisamente por ser las conservas las que presentan mayores niveles de emisiones por kilogramo de carne. El importante papel de la exportación de mejillón congelado es un condicionante en esta estrategia, puesto que reduce la capacidad de abastecimiento de la industria nacional para su consumo. Así, se precisan esfuerzos conjuntos que reduzcan la exportación de aquellas presentaciones más sostenibles, se fomente la reconversión de las cadenas para producir y fabricarlos, se promueva el consumo de estos mismos productos, y se reduzca el papel exportador de los mismos. Todo ello debe ir acompañado de la puesta en valor del producto local sin menoscabar la viabilidad económica del sector, destacando la alta calidad de los productos acuícolas españoles como palanca de cambio para transitar hacia un menor nivel de emisiones.

En última instancia, este estudio destaca la importancia de considerar todos los aspectos de la cadena de suministro alimentario, desde la producción hasta el consumo, para abordar de manera efectiva los desafíos ambientales y avanzar hacia sistemas alimentarios más sostenibles.

5. Conclusiones

En este informe hemos analizado de forma detallada la cadena de producción y consumo del mejillón en España. Los resultados evidencian que la huella de carbono total asciende a 287.8 GgCO₂ eq. Visto desde una óptica de la oferta, las mayores contribuciones son las de la producción de mejillón fresco, con 126.4 GgCO₂eq de producción nacional y 3.5 GgCO₂eq importado, lo que supone el 45% de las emisiones totales. Le sigue la contribución del procesamiento industrial con 123 GgCO₂eq (43% de las emisiones totales), de los que la fabricación nacional suponen 63.7 GgCO₂eq y los procesados importados 59.3 GgCO₂eq. El resto de las emisiones son asociadas al transporte, con 10.5 GgCO₂eq para el transporte internacional y 24.4 GgCO₂eq del transporte nacional. Sin embargo, desde la óptica del producto final se observa que las emisiones asociadas a la subcadena de producción de mejillón fresco que se destina al consumo y a la exportación supone únicamente el 25 % de las emisiones totales (71.1 GgCO₂eq). La subcadena del mejillón en escabeche, al incluir la parte de las emisiones del mejillón fresco que se utiliza como materia prima para su producción, es la que tiene una mayor contribución a las emisiones totales alcanzando el 54% de las mismas (155.4 GgCO₂eq). Las emisiones de las subcadenas de congelado y salmuera, al incluir en ambas las emisiones del mejillón fresco utilizado como materia prima, suponen el 17.3 % (49.7 GgCO₂eq) y el 4.7 % (13.7 GgCO₂eq). Estas cifras ponen de manifiesto la importancia de considerar no sólo la producción, sino también las etapas de procesamiento, almacenaje, transporte y consumo en la evaluación de la huella de carbono de los alimentos de origen marino.

Para optimizar esta estructura productiva y comercial en busca de una reducción del impacto ambiental del sistema alimentario se propone considerar varias medidas de actuación. Por un lado, se promueve incentivar una transformación de las pautas de consumo asociadas al mejillón, trabajando las alianzas entre productores y consumidores, y promoviendo una mayor comercialización en fresco y congelado mientras se incentiva el consumo de mejillón a nivel nacional a través de campañas de concienciación y educación. El descenso del consumo de productos en conserva (8.5 y 6.7 kgCO₂eq por kg de carne de mejillón respectivamente) podría compensarse con el incremento del consumo de productos con un nivel de emisiones menor como es el caso de los productos frescos (4.1 kgCO₂eq por kg de carne de mejillón) y congelados (3.6 kgCO₂eq por kg de carne de mejillón). Además, esto también repercutiría en un menor uso de envases, lo que resultaría en una disminución del uso de recursos finitos como los metales o plásticos, habitualmente empleados en el empaquetado de los productos en conserva. Otras medidas en el ámbito del consumo incluirían la compra de productos locales y sostenibles, así como reducir el desperdicio de alimentos. La incentivación y concienciación sobre la huella de carbono de los alimentos marinos es esencial para que los consumidores tomen decisiones informadas y contribuyan a la sostenibilidad ambiental.

El segundo factor fundamental sobre el que es posible reducir el impacto ambiental está vinculado con la reconfiguración de la orientación comercial y las interconexiones globales de esta cadena alimentaria. Así, es recomendable emprender una reestructuración industrial orientada hacia la satisfacción del consumo estatal, reduciendo la dependencia de canales de comercialización globales, tanto de importación como de exportación. Esto implica reconfigurar las cadenas de valor y reestructurar el sector industrial para reducir la dependencia de la comercialización internacional de productos transformados (congelados principalmente), productos que, como se ha visto en este informe, presentan el menor nivel de emisiones por kg de carne consumida. Paralelamente, es necesario poner en valor el producto local sin menoscabar la viabilidad económica del sector, destacando la alta calidad de los productos acuícolas españoles como palanca de cambio para transitar hacia un menor nivel de emisiones.

Todo ello debe ir acompañado de una transformación y acompañamiento para que las producciones acuícolas y las empresas de transformación adopten prácticas más eficientes y sostenibles en el procesamiento y envasado de productos. La reducción de emisiones durante la producción y la promoción de la acuicultura sostenible son pasos clave en la reducción de la huella de carbono en esta cadena. Asimismo, las empresas también pueden desempeñar un papel fundamental al adoptar materiales de embalaje sostenibles y tecnologías más eficientes.

De este modo, los desafíos climáticos a los que nos enfrentamos imponen una agenda donde los escenarios de reducción del grado de procesamiento, de las conexiones comerciales globales y de la recuperación del consumo local pueden ser aliados en la mitigación del cambio climático. En conjunto, estos esfuerzos pueden ayudar a abordar el desafío de reducir la huella de carbono de los alimentos de origen marino, garantizando que la producción y el consumo de mejillón y otros productos marinos sean más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Agradecimientos

Queremos agradecer especialmente a Gloria Guzman, Eduardo Aguilera y al resto de socios de Alimentta por las revisiones y comentarios que han permitido mejorar la redacción, interpretación y discusión de los resultados. También agradecemos a Montse Pérez del Centro Oceanográfico de Vigo (IEO, CSIC) por ceder las fotografías de la figura 2, y a Uxio Labarta (CSIC) por sus comentarios sobre la estructura de comercialización de mejillón en Galicia.

6. Glosario

Abastecimiento alimentario. El abastecimiento alimentario se refiere a la forma en que los alimentos se producen, procesan, distribuyen y consumen para satisfacer las necesidades de la población.

Acuicultura sostenible. La acuicultura sostenible es la práctica de criar y cultivar organismos acuáticos de manera que sea ambientalmente responsable y socialmente beneficiosa.

Autosuficiencia alimentaria. La autosuficiencia alimentaria es la capacidad de un país o región para producir suficientes alimentos para satisfacer sus necesidades internas sin depender en gran medida de las importaciones.

Cadena productiva. Una cadena productiva es una secuencia de actividades relacionadas que contribuyen a la producción y distribución de un producto o servicio.

Cadenas de suministro. Las cadenas de suministro son sistemas que incluyen todas las etapas involucradas en llevar un producto desde su origen hasta el consumidor final.

Cambio climático. El cambio climático se refiere a los patrones de clima a largo plazo que están siendo alterados por las actividades humanas, incluidas las emisiones de gases de efecto invernadero.

Carbonato cálcico (CaCO₃). El carbonato cálcico es una sustancia química que se encuentra en la naturaleza en minerales como la calcita y la aragonita. También es un componente principal de las conchas de los organismos marinos.

Circuitos de comercialización global. Los circuitos de comercialización global se refieren a las rutas y redes utilizadas para importar y exportar productos a nivel internacional.

Concentración geográfica. La concentración geográfica se refiere a la agrupación de actividades económicas o producción en una región específica.

Desperdicio de alimentos. El desperdicio de alimentos se produce cuando los alimentos comestibles se descartan o se desechan en lugar de ser consumidos, lo que contribuye al desperdicio de recursos y al aumento de las emisiones de CO₂.

Disponibilidad total. Es la cantidad bruta de un producto o alimento que se produce o importa antes de tener en cuenta las pérdidas o el desperdicio.

Disponibilidad neta. Cantidad de un producto o alimento que está disponible para su consumo después de tener en cuenta las pérdidas, el desperdicio y otros factores.

Diversificación de mercados. La diversificación de mercados implica la expansión y el acceso a diferentes mercados y segmentos de consumidores para reducir la dependencia de un mercado específico.

Emissiones totales. Las emisiones totales se refieren al total de gases de efecto invernadero liberados en todas las etapas de un proceso o cadena de suministro.

Envasado sostenible. El envasado sostenible implica el uso de materiales y técnicas de envasado que minimizan el impacto ambiental y reducen los residuos.

Flujos de importación y exportación. Los flujos de importación son los productos que se traen desde otros países, mientras que los flujos de exportación son los productos que se envían a otros países.

Gases de efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero son sustancias que atrapan el calor en la atmósfera terrestre y contribuyen al calentamiento global.

Huella de carbono. La huella de carbono es una medida de la cantidad de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono (CO₂), liberados a la atmósfera debido a las actividades humanas.

Materia prima: Materias primas son los productos extraídos de la naturaleza que se utilizan para fabricar bienes y productos.

Optimización de rutas de distribución. La optimización de rutas de distribución implica planificar y seleccionar las rutas más eficientes y económicas para entregar productos a su destino final.

Producción local. La producción local se refiere a la fabricación o cultivo de productos en la misma área geográfica en la que se consumen, reduciendo así la distancia de transporte.

Producción manufacturera. La producción manufacturera se refiere a la fabricación de productos a través de procesos industriales y de transformación.

Productos en conserva. Los productos en conserva son alimentos que se han procesado y envasado en latas u otros envases sellados para su conservación a largo plazo.

Redes globales. Las redes globales son sistemas interconectados a nivel internacional que involucran a empresas, países y regiones en actividades económicas y comerciales.

Secuestro de carbono. El secuestro de carbono es el proceso de capturar y almacenar dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera, generalmente en forma de carbonato cálcico en las conchas y otros depósitos geológicos.

Sostenibilidad ambiental. La sostenibilidad ambiental se refiere a la capacidad de mantener la salud y la diversidad del medio ambiente a lo largo del tiempo, sin agotar los recursos naturales o dañar los ecosistemas.

Subcadena. Una subcadena es una parte de una cadena más grande o un proceso que es una parte fundamental de un proceso más amplio.

Sumidero de carbono. Un sumidero de carbono es un proceso que elimina dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera y lo almacena, reduciendo así la concentración de CO₂ en la atmósfera.

Unidad Funcional (UF). En el contexto de evaluación ambiental de alimentos y productos, la Unidad Funcional ('UF') se refiere a una medida estandarizada que permite cuantificar y comparar el impacto ambiental y las emisiones asociadas a la producción, procesamiento y consumo de un producto específico, generalmente en relación con su contenido de nutrientes o valor nutritivo. Esta medida facilita la evaluación de la sostenibilidad y la huella de carbono de los alimentos al expresar las emisiones en función de una cantidad fija de nutrientes o de otro componente relevante del producto, lo que permite análisis comparativos más precisos.

7. Referencias

Aguilera, E., Piñero, P., Infante Amate, J., González de Molina, M., Lassaletta, L., & Sanz Cobeña, A. (2020). *Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España*. Real Academia de Ingeniería.

Alonso, A. A., Álvarez-Salgado, X. A., & Antelo, L. T. (2021). «Assessing the impact of bivalve aquaculture on the carbon circular economy». *Journal of Cleaner Production*, 279, 123873.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123873>

Álvarez-Salgado, X. A., Fernández-Reiriz, M. J., Fuentes-Santos, I., Antelo, L. T., Alonso, A. A., & Labarta, U. (2022). «CO₂ budget of cultured mussels metabolism in the highly productive Northwest Iberian upwelling system».

Science of the Total Environment, 849. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157867>

Aragão, G. M., Saralegui-Díez, P., Villasante, S., López-López, L., Aguilera, E., & Moranta, J. (2022). «The carbon footprint of the hake supply chain in Spain: Accounting for fisheries, international transportation and domestic distribution». *Journal of Cleaner Production*, 360(131979).

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131979>

Aragão, G., Saralegui-Díez, P., Villasante, S., López-López, L. L., Moranta, J., Villasante-Larramendi, S., ... Moranta-Mesquida, J. (2021). *La huella de carbono de la cadena agroalimentaria de la merluza en España*. Alimentta.

Asselin-Balençon, A., Broekema, R., Teulon, H., Gastaldi, G., Houssier, J., Moutia, A., ... Colomb, V. (2020). «AGRIBALYSE v3.0: the French agricultural and food LCI database». *Methodology for the food products*. ADEME.

Aubin, Jöel, & Fontaine, C. (2014). «Impacts of producing bouchot mussels in Mont-Saint-Michel Bay (France) using LCA with emphasis on potential climate change and eutrophication». *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector Environmental*, 64–69.

Aubin, Joël, Fontaine, C., Callier, M., & Roque d'orbcastel, E. (2018). «Blue mussel (*Mytilus edulis*) bouchot culture in Mont-St Michel Bay: potential mitigation effects on climate change and eutrophication». *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23, 1030–1041.

<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1403-y>

Avdelas, L., Avdic-Mravljje, E., Borges Marques, A. C., Cano, S., Capelle, J. J., Carvalho, N., ... Asche, F. (2021). «The decline of mussel aquaculture in the European Union: causes, economic impacts and opportunities». *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 91–118.

<https://doi.org/10.1111/raq.12465>

Baroni, L., Berati, M., Candilera, M., & Tettamanti, M. (2014). «Total Environmental Impact of Three Main Dietary Patterns in Relation to the Content of Animal and Plant Food». *Foods*, (3), 443–460.

<https://doi.org/10.3390/foods3030443>

Billen, G., Garnier, J., Thieu, V., Silvestre, M., Barles, S., & Chatzimpiros, P. (2012). «Localising the nitrogen imprint of the Paris food supply: The potential of organic farming and changes in human diet». *Biogeosciences*, 9(1), 607–616.

<https://doi.org/10.5194/bg-9-607-2012>

Boureima, F., Sergeant, N., Wynen, V., Rombaut, H., Matheys, J., Van Mierlo, J., ... De Caemel, B. (2008). «LCA of conventional and alternative vehicles using a "data range-based modeling system"». *Urban Transport*, XIV, 301–309.

<https://doi.org/10.2495/UT080301>

Carboni, S., Kaur, G., Pryce, A., McKee, K., Desbois, A. P., Dick, J. R., ... Hamilton, D. L. (2019). «Mussel Consumption as a "Food First" Approach to Improve Omega-3 Status». *Nutrients*, 11(6), 1–11.

<https://doi.org/10.3390/nu11061381>

Carlsson-Kanyama, A., & Faist, M. (2000). «Energy use in the food sector: a data survey». *AFR report*, 291 (January), 1–36.

Castañé, S., & Antón, A. (2017). «Assessment of the nutritional quality and environmental impact of two food diets: A Mediterranean and a vegan diet». *Journal of Cleaner Production*, 167, 929–937.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.121>

Cerrillo, I., Saralegui-Díez, P., Morilla Romero de la Osa, R., González de Molina, M., & Guzmán, G. I. (2023). «Nutritional Analysis of the Spanish Population: A New Approach Using Public Data on Consumption». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1642).

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph20021642>

Chai, B. C., van der Voort, J. R., Grofelnik, K., Eliasdottir, H. G., Klöss, I. & Perez-Cueto, F. J. A. (2019). «Which diet has the least environmental impact on our planet? A systematic review of vegan, vegetarian and omnivorous diets». *Sustainability* (Switzerland), 11(4110).

<https://doi.org/10.3390/su11154110>

Choi, S. H., Lee, J. H., Yoo, J., Hyeon Park, J., Bae, J. S., & Young Park, C. (2024). «Toward transformation of bivalve shell wastes into high value-added and sustainable products in South Korea: A review». *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 129, 38–52.

<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2023.08.032>

Corrado, S., Caldeira, C., Eriksson, M., Hanssen, O. J., Hauser, H. E., van Holsteijn, F., ... Sala, S. (2019). «Food waste accounting methodologies: Challenges, opportunities, and further advancements». *Global Food Security*, 20, 93–100.

<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.01.002>

Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M., Free, C. M., Froehlich, H. E., ... Lubchenco, J. (2020). «The future of food from the sea». *Nature*, 588(7836), 95–100.

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>

Craig, A. J., Blanco, E. E., & Sheffi, Y. (2013). Estimating the CO2 intensity of intermodal freight transportation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 22, 49–53.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.02.016>

Cranford, P. J., Hargrave, B. T., & Doucette, L. I. (2009). «Benthic organic enrichment from suspended mussel (*Mytilus edulis*) culture in Prince Edward Island, Canada». *Aquaculture*, 292(3–4), 189–196.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.039>

DARetail. (2017). Supermercados 2017. Dossier Supers. DARetail, (may–jun).

DataComex. (2017). *Estadísticas de Comercio Exterior - España*. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

DEFRA. (2008). *Greenhouse Gas Impacts of Food Retailing*. Uxbridge.

Delgado Cabeza, M., Márquez Guerrero, C., Coq Huelva, D., Pérez Neira, D., Rodríguez Morillas, C., & Sanz Alduán, A. (2015). *Las cuentas integradas del transporte en Andalucía*. Granada: Dirección Técnica de la Consejería de Fomento y Vivienda, Junta de Andalucía.

Domouso De Agar, P. (2018). *Trabajo de Fin de Master - Análisis energético del canal tradicional y del canal ecológico: potencialidades para el salto de escala*. Universidad Pablo de Olavide.

EUMOFA. (2022). El mejillón en la UE. Estructura de los precios en la cadena de suministro de España, Francia, Italia e Irlanda.

<https://doi.org/10.2771/401988>

Eurostat. (2019). PRODCOM. Lista 2019. EUROSTAT.

FAO. (2011). *Global Food Losses and Food Waste. Extent, Causes and Prevention*. Rome.

FAO. (2022a). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. Roma, FAO.

FAO. (2022b). *Estadísticas de pesca y acuicultura. Producción mundial de acuicultura 1950–2020 (FishStatJ)*. En: FAO División de Pesca y Acuicultura [en línea]. Roma. Actualización 2022.

Figueras, A., & Cáceres, J. (2007). «Cultivo del mejillón en Galicia». En *Biología y cultivo del mejillón (Mytilus galloprovincialis) en Galicia* (19–43).

Filgueira, R., Byron, C. J., Comeau, L. A., Costa-Pierce, B., Cranford, P. J., Ferreira, J. G., ... Strohmeier, T. (2015). «An integrated ecosystem approach for assessing the potential role of cultivated bivalve shells as part of the carbon trading system». *Marine Ecology Progress Series*, 518, 281–287.
<https://doi.org/10.3354/meps11048>

Filgueira, R., Strohmeier, T., & Strand, Ø. (2019). «Regulating services of bivalve molluscs in the context of the carbon cycle and implications for ecosystem valuation». En A. C. Smaal, J. G. Ferreira, J. Grant, J. K. Petersen, & Ø. Strand (Eds.), *Goods and Services of Marine Bivalves*. Cham: Springer International Publishing.

Fries, N., & Hellweg, S. (2014). «LCA of land-based freight transportation: facilitating practical application and including accidents in LCIA». *International Journal Life Cycle Assessment*, (19), 546–557.
<https://doi.org/10.1007/s11367-013-0657-2>

Frösell, M. (2019). *Mussel farming using various techniques evaluated using Life Cycle Assessment (LCA)*. Swedish University of Agricultural Sciences.

Golden, C. D., Koehn, J. Z., Shepon, A., Passarelli, S., Free, C. M., Viana, D. F., ... Thilsted, S. H. (2021). «Aquatic foods to nourish nations». *Nature*, 598(7880), 315–320.
<https://doi.org/10.1038/s41586-021-03917-1>

González-García, S., Esteve-Llorens, X., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2018). «Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices». *Science of the Total Environment*, 644, 77–94.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.339>

INE. (2017a). *Cifras de Población*. Instituto Nacional de Estadísticas.

INE. (2017b). *Encuesta Industrial de Producciones*. Instituto Nacional de Estadísticas.

IPCC. (2020). *El cambio climático y la tierra*. OMM-PNUMA.

Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2011). «Life Cycle Assessment of mussel culture». *Mussels: Anatomy, Habitat and Environmental Impact*. New York, USA: Nova Science Publishers.

Iribarren, Diego. (2010). *PhD thesis: Life Cycle Assessment of Mussel and Turbot Aquaculture*. Universidad de Santiago de Compostela.

Iribarren, Diego, Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010a). Life Cycle Assessment of fresh and canned mussel processing and consumption in Galicia (NW Spain). *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 106–117.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.08.001>

Iribarren, Diego, Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010b). «Revisiting the Life Cycle Assessment of mussels from a sectorial perspective». *Journal of Cleaner Production*, 18(2), 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.009>

Ivanova, D., Barrett, J., Wiedenhofer, D., Macura, B., Callaghan, M., & Creutzig, F. (2020). «Quantifying the potential for climate change mitigation of consumption options». *Environmental Research Letters*.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8589>

Jones, A. R., Alleway, H. K., McAfee, D., Reis-Santos, P., Theuerkauf, S. J., & Jones, R. C. (2022). «Climate-Friendly Seafood: The Potential for Emissions Reduction and Carbon Capture in Marine Aquaculture». *BioScience*, 17(2), 123–143.

<https://doi.org/10.1093/biosci/biab126>

Kantar WorldPanel. (2017, abril 19). *Cuotas de mercado de la distribución*. Recuperado 6 de junio de 2020, de Kantar website:

<https://www.kantarworldpanel.com/es/grocery-market-share/spain>

Labarta, U., Corbacho, E. P., (2002). *La industria del mejillón: mercados internacionales, productos y países*, CIEF, Fundación Caixagalicia: A Coruña.

Labarta, U., Fernández-Reiriz, M. J. (2019) «The Galician Mussel Industry: Innovation and changes in the last forty years», *Ocean & Coastal Management*, 167, 208–218

Lourguioui, H., Brigolin, D., Boulahdid, M., & Pastres, R. (2017). «A perspective for reducing environmental impacts of mussel culture in Algeria». *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(8), 1266-1277.

<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1261-7>

Lozano, S., Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). «Environmental impact efficiency in mussel cultivation». *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1269–1277. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.004>

Majewski, E., Komerska, A., Kwiatkowski, J., Malak-Rawlikowska, A., Was, A., Sulewski, P., ... Vittersø, G. (2020). «Are short food supply chains more environmentally sustainable than long chains? a life cycle assessment (LCA) of the eco-efficiency of food chains in selected EU countries». *Energies*, 13(18).

<https://doi.org/10.3390/en13184853>

MAPA. (2017). *Datos de producción en acuicultura*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.

MAPAMA. (2016). *Informe Anual del Observatorio de la Movilidad Metropolitana* (P. y A. Ministerio de Agricultura, Ed.).

MAPAMA. (2017a). *Consumo Alimentario en los Hogares*. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

MAPAMA. (2017b). *Informe del consumo de alimentación en España*. Ministerio de Agricultura Pesca Alimentación y Medio Ambiente.

MAPAMA. (2019). *Anuario de estadística pesquera*. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente

- MERCASA. (2017). *MERCASA. Red de Mercas Informe 2017*. Mercasa.
- Meyhoff-Fry, J. (2012). Carbon Footprint Of Scottish Suspended Mussels And Intertidal Oysters. *Scottish Aquaculture Research Forum (SARF)*.
- MF, 2006 *Movilia Información sobre pautas de movilidad de la población residente en España en viviendas familiares, sus características y sus determinantes*. 2006/2007. Ministerio de Fomento
- MF. (2017). *Anuario Estadístico, 2017*. Ministerio de Fomento, España.
- MF. (2019). *El transporte urbano y metropolitano en España 2021*. Ministerio de Fomento, España.
- Montaño Valle, A., & Chavarría Ortiz, C. (2016). *La sostenibilidad económica, territorial y medioambiental del formato supermercado*. Consejo Internacional de Empresas Sostenibles. Universidad de Huelva. Cátedra.
- Morris, J. P., & Humphreys, M. P. (2019). «Modelling seawater carbonate chemistry in shellfish aquaculture regions: Insights into CO₂ release associated with shell formation and growth». *Aquaculture*, 501, 338–344.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.028>
- MPAC. (2016). *Encuesta de hábitos de consumo 2016*. Mesa de participación de Asociaciones de Consumidores.
- Nijdam, D., Rood, T., & Westhoek, H. (2012). «The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes». *Food Policy*, 37, 760–770.
<https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002>
- OESA - Fundación Biodiversidad (2017). *Cultivo del mejillón (Mytilus galloprovincialis)*. Fundación Biodiversidad, Madrid, España.
- Pérez Neira, D., Simón Fernández, X., Copena Rodríguez, D., Soler Montiel, M., Delgado Cabeza, M., Neira, D. P., ... Delgado Cabeza, M. (2016). Analysis of the transport of imported food in Spain and its contribution to global warming. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 31(1), 37–48.
<https://doi.org/10.1017/S1742170514000428>
- Pirog, R., & Benjamin, A. (2005). *Calculating food miles for a multiple ingredient food product*. Leopold Center for Sustainable Agriculture.
- Ray, N. E., O'Meara, T., Wiliams, T., Izursa, J. L., & Kangas, P. C. (2018). Consideration of carbon dioxide release during shell production in LCA of bivalves. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(5), 1042-1048.
<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1394-8>
- Sanchez Lopez, J., Patinha Caldeira, C., De Laurentiis, V., Sala, S., & Avraamides, M. (2020). Brief on food waste in the European Union. European Commission - JRC, 25–37.
<https://doi.org/10.1039/9781849737326-00025>

Saralegui-Díez, P., Aguilera, E., González de Molina, M., & Guzmán, G. I. (2023). From field to table through the long way. Analyzing the global supply chain of Spanish tomato. *Sustainable Production and Consumption*, 42, 268–280.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.003>

Saralegui et al., en prensa *Greenhouse Gas Emissions associated with the pork food chain in Spain: identifying the fundamental factors of its carbon footprint*.

Simón Fernández, X., Copena Rodríguez, D., Pérez-Neira, D., Delgado Cabeza, M., & Soler Montiel, M. (2014). «Alimentos kilométricos y gases de efecto invernadero: Análisis del transporte de las importaciones de alimentos en el Estado español (1995–2007)». *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 22, 1-16.

Tamburini, E., Turolla, E., Fano, E. A., & Castaldelli, G. (2020). «Sustainability of Mussel (*Mytilus galloprovincialis*) farming in the Po River delta, northern Italy, based on a life cycle assessment approach». *Sustainability*, 12(9).
<https://doi.org/10.3390/su12093814>

Tamburini, E., Turolla, E., Lanzoni, M., Moore, D., & Castaldelli, G. (2022). Manila clam and Mediterranean mussel aquaculture is sustainable and a net carbon sink. *Science of the Total Environment*, 848, 157508.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157508>

Thinkstep-anz. (2021). A life cycle assessment of NZ mussels and oysters. Wellington.

Vélez-Henao, J. A., Weinland, F., & Reintjes, N. (2021). Life cycle assessment of aquaculture bivalve shellfish production — a critical review of methodological trends. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(10), 1943–1958.
<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01978-y>

Ware, J.R., Smith, S.V., Reaka-Kudla, M.L., 1992. «Coral reefs: sources or sinks of atmospheric CO₂?». *Coral Reefs*, 11, 127–130

Warmerdam, S., Vickers, J., & Palairé, N. (2021). LCA of New Zealand Mussels & Oysters.

Webb, J., Williams, A. C., Hope, E., Evans, D., & Moorhouse, E. (2013). Do foods imported into the UK have a greater environmental impact than the same foods produced within the UK? *International Journal Life Cycle Assessment*, 18, 1325-1343.

Westhoek, H. J., Rood, G. A., Berg, M. Van Den, & Janse, J. H. (2011). The Protein Puzzle: The Consumption and Production of Meat , Dairy and Fish in the European Union. The Haugue: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Winther, U., Ziegler, F., Skontorp Hognes, E., Emanuelsson, A., Sund, V., & Ellingsen, H. (2009). Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products. En SINTEF Report. SINTEF.