

04-037

LIFE CYCLE ASSESSMENT IN SEAPORTS: LITERATURE REVIEW.

Pacheco-Blanco, Bélgica ⁽¹⁾; Astorga-Mendoza, Francisco ⁽²⁾; Artacho-Ramírez, Miguel Ángel ⁽¹⁾; Cloquell-Ballester, Víctor Andrés ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad (PRINS). Universitat Politècnica de València, ⁽²⁾ Universitat Politècnica de Valencia

The seaport includes a series of key activities for the economic development of a region. These activities are providing products and services which generate several impacts to the environment during their life cycle. To study these impacts, the use of the life cycle assessment (LCA) methodology has been extended. Despite the large number of LCA publications and reviews of the literature available, we found a gap about the application of the methodology in seaport activities. With this objective, a review of the scientific literature is carried out that allows to establish a classification and analysis of the publications related to the sector. In same way, these results will help us to identify new lines of research and development opportunities.

Keywords: Life cycle assessment; port; literature review.

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN EL SECTOR PORTUARIO: REVISIÓN DE LA LITERATURE.

El sector portuario incluye una serie de actividades claves para el desarrollo económico de una región. Estas actividades proporcionan productos y servicios que generan una serie de impactos al medio ambiente durante su ciclo de vida. Para estudiar dichos impactos, se ha extendido el uso de la metodología de análisis del ciclo de vida (ACV). A pesar de la gran cantidad de publicaciones de ACV y revisiones de la literatura disponibles, se detecta la necesidad de conocer la aplicación de la metodología en las actividades llevadas a cabo en un entorno portuario. Con este objetivo, se realiza una revisión de la literatura científica que permite establecer una clasificación y análisis de las publicaciones relacionadas al sector, a la vez que ayuda a identificar las oportunidades de investigación y desarrollo.

Palabras claves: Análisis del ciclo de vida; puertos; revisión de literatura.

Correspondencia: Bélgica Pacheco-Blanco blpacbla@dpi.upv.es

Agradecimientos: El trabajo se ha realizado en el marco del proyecto "IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE LAS ACTIVIDADES DE MAYOR POTENCIAL DE SIMBIOSIS ENTRE LAS EMPRESAS QUE COMPONEN VALENCIAPORT "subvencionado por la Generalitat Valenciana para la realización de proyectos I+D+i desarrollados por grupos de investigación emergentes (GV), con referencia GVA/2020/217.



1. Introducción

El sector marítimo aportó entre el 3 y el 3.8% del PIB de la Unión Europea (UNCTAD, 2018). Para el periodo 2018-2023 se esperaba un crecimiento anual del 3.8%. Sin embargo, los datos de 2019 proyectaban que el volumen del comercio marítimo internacional se reduciría en un 4,1% en 2020 (UNCTAD, 2020).

Se trata de uno de los sectores clave del intercambio de bienes y mercancías en el actual mercado global. Por consiguiente, al igual que todo el mercado actual, debe avanzar hacia modos sostenibles que aseguren el cumplimiento de la normativa y legislación. Asimismo, debe procurar la eficiencia que ayude a mejorar la sostenibilidad de las empresas (desde un enfoque económico, ambiental y social).

Los requisitos medioambientales más estrictos siguen dando forma al sector del transporte marítimo. Los transportistas deben mantener los niveles de servicio y reducir los costos y, al mismo tiempo, garantizar la sostenibilidad de las operaciones. En esta línea, el aumento en el tamaño de los buques, combinado con múltiples ganancias de eficiencia y el reciclaje de buques menos eficientes, ha limitado el crecimiento de las emisiones de dióxido de carbono, a pesar del aumento de la capacidad de las embarcaciones. Varias medidas se están tomando desde la Organización Marítima Internacional (OMI) para reducir las emisiones anuales totales de gases de efecto invernadero en al menos un 50% para 2050 en comparación con los niveles de 2008 (tecnologías y combustibles) (UNCTAD, 2020).

En este marco, la metodología de Análisis del Ciclo de Vida ISO 14040 (ISO, 2006a) e ISO 14044 (ISO, 2006b) se ha consolidado en el estudio de entradas y salidas de los sistemas productivos. Esta metodología permite tener un enfoque holístico de los impactos ambientales, durante todo el ciclo de vida de un producto o servicio. En este artículo, se revisa la aplicación de la metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en actividades relacionadas con el sector portuario.

La estructura de este documento está definida como sigue: En primer capítulo, presenta una relación de datos que justifican la necesidad de realizar una revisión en el sector portuario. En el segundo capítulo, se presenta la metodología y herramientas que se ha adoptado para la revisión de la literatura seleccionada, así como los pasos del análisis que permiten alcanzar el objetivo planteado. En el tercer capítulo, se muestran los resultados del entorno del proyecto y concretos de los ACVs revisados. Se realiza un análisis descriptivo de los hallazgos y un análisis que permite agrupar las distintas decisiones tomadas en el desarrollo de un ACV. Finalmente, se presentan las discusiones de la revisión y las principales conclusiones del estudio.

2. Metodología y herramientas

Para llevar a cabo un análisis de la literatura existente sobre Análisis del Ciclo de Vida en el sector portuario, se plantea en la Tabla 1, el método adaptado de varios autores (Neves et al., 2020; Fracaccia et al., 2020). Este método de investigación se divide en tres partes fundamentales: 1) los criterios de búsqueda, 2) criterios de selección, y 3) criterios de análisis de los artículos (Tabla 1). Los cuales, permiten visualizar la evolución de las publicaciones y clasificarlos en base a los parámetros de interés establecidos.

Tabla 1. Método de revisión

1. Búsqueda	
Palabras clave (Title-abs-key)	“Life cycle assessment” AND port= 68 “Life cycle assessment” OR LCA AND seaport= 1 “Life cycle assessment” OR LCA AND “green port”=1
Base de datos	Scopus
Temporización	Hasta 2021
Filtros	En inglés. Journal & Conference Proceeding. Descargables
Total obtenido	51 artículos
2. Selección	
Lectura título, resumen y palabras clave.	Identificar si está relacionado con el objeto de estudio.
Total obtenido	37 artículos
Lectura del artículo completo	En el caso de que la etapa anterior no permitiera seleccionar el artículo con seguridad.
Total obtenido	20 artículos
3. Análisis	
Análisis descriptivo	Análisis de datos generales extraídos del buscador (68 artículos iniciales).
Análisis de Selección	Clasificación por afinidad, objetivos y Unidad Funcional (20 finales).

2.1. Definición de criterios de búsqueda

Para la selección de la primera ronda de artículos, se realiza una búsqueda de publicaciones indexadas para asegurar la revisión por pares y la posibilidad de descargarlo (Fraccascia et al, 2019). Los resultados de la búsqueda de las palabras clave “life cycle assessment” AND port mostraron 68 publicaciones en Scopus¹. En la selección de palabras de búsqueda se descarta la sigla “LCA” porque añade resultados de otras áreas de investigación (medicina, biología molecular, etc.). Revisadas por pares. El único criterio de exclusión, en esta primera fase de la investigación, fueron todos los artículos que no estaban escritos en inglés. Como resultado de este primer intento, se obtuvo 51 artículos. La búsqueda es realizada el 5 de abril de 2021.

2.2. Definición de criterios de selección

¹ La decisión de usar solo esta base de datos, se debe a la necesidad de evitar duplicidades, al gran número de resultados obtenidos y a que es sin duda una de las más consultadas en el ámbito científico.

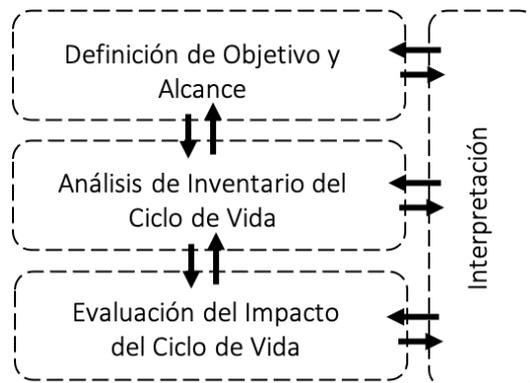
Para definir la selección exacta de los artículos a analizar, la primera revisión se centra en la lectura de títulos, resúmenes y palabras clave. Con esto se puede confirmar que el artículo se centra en Análisis del ciclo de vida en alguna iniciativa de sector portuario. En el caso de duda sobre su inclusión en el análisis, se procede a una lectura completa del texto. Esta lectura debe asegurar la comprensión del contexto en el que se enmarca cada artículo y su relación con el objeto de estudio.

2.3. Criterios de análisis de artículos

Los artículos seleccionados son ordenados por datos principales de identificación: título, autor, año, revista y tipo de artículo (investigación, reseña, conferencia, capítulo de libro y editorial). De esta selección, se extrae el análisis descriptivo de las publicaciones.

Posteriormente, se lleva a cabo un análisis detallado de la selección. Este análisis tiene en cuenta la norma ISO 14040 (ISO, 2006a), para la identificación de las partes que debe contener un Análisis del Ciclo de Vida (Figura 1). Cada una de ellas, requiere un conjunto de información que debe ser considerada a la hora de tomar decisiones. Estas decisiones son las que en definitiva, usaremos para analizar los artículos seleccionados y que coinciden con la revisión de Yadav y Samadder (2018). El análisis se centrará en el análisis de: la unidad funcional, los límites del sistema, la(s) bases de datos usadas, el software utilizado para el modelado, las categorías de impacto seleccionadas, los nichos detectados, etc.

Figura 1. Marco Normativo para el desarrollo de un ACV (ANEOR, 2006a)



Se identifican los factores relacionados con: a) sector o entorno del estudio (gestión de mercancías, gestión de residuos, transporte de contenedores, etc.) y, b) si se utiliza la norma ISO 14040 u otra basada en el enfoque del ciclo de vida. Esta segunda opción se contabiliza no se tiene en cuenta para el análisis posterior. Aquellas publicaciones basadas en la norma de ACV, son analizadas en función de: a) la Unidad Funcional, b) los límites del sistema estudiado, c) calidad de los datos, d) método de evaluación de impactos.

Para la gestión de referencias se utilizó Mendeley, que permite identificar las duplicidades de los documentos descargados. Finalmente, se revisaron los artículos completos para identificar los aspectos revisados en detalle (Beuren et al, 2013).

3. Resultados

3.1. Resultados descriptivos

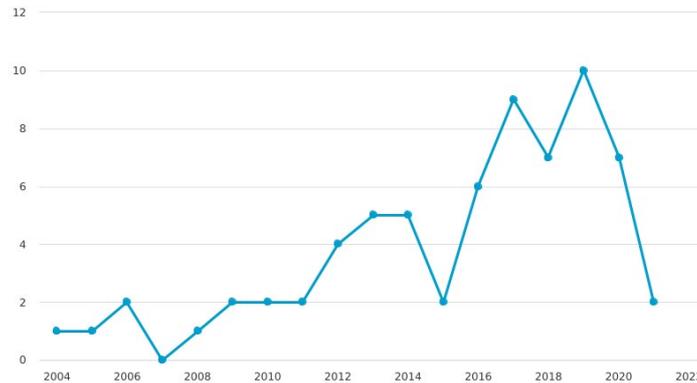
El análisis descriptivo se centra en los 68 artículos inicialmente seleccionados con el buscador, para las palabras clave propuestas. En esta visión general se incluyen tanto

los artículos que con una u otra metodología analizan una o varias etapas del ciclo de vida de una o varias actividades dentro del sector portuario.

3.1.1. Documentos por año

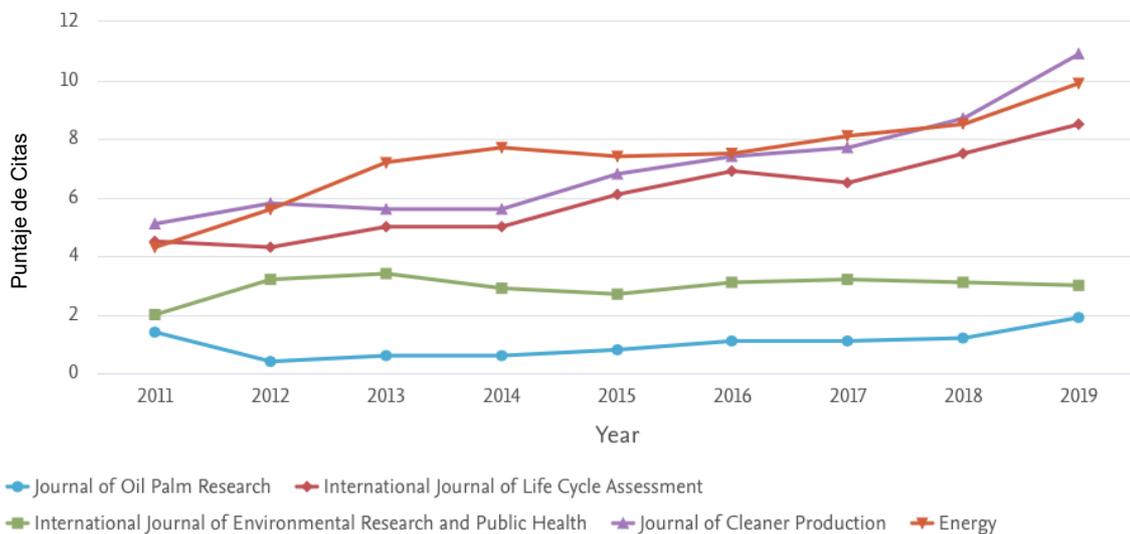
Las publicaciones que incluyen las palabras de búsqueda introducidas, se inician en el año 2004. Se mantiene la frecuencia de publicaciones hasta el año 2011 y aumenta progresivamente hasta nuestros días.

Figura 2. Frecuencia de publicaciones por año (SCOPUS, 2021)



Las revistas más destacadas en este campo, según su puntaje de citas² son: Journal of Cleaner Production, Energy, e International Journal of Life Cycle Assessment (Figura 3).

Figura 3. Documentos por año y fuente (SCOPUS, 2021)

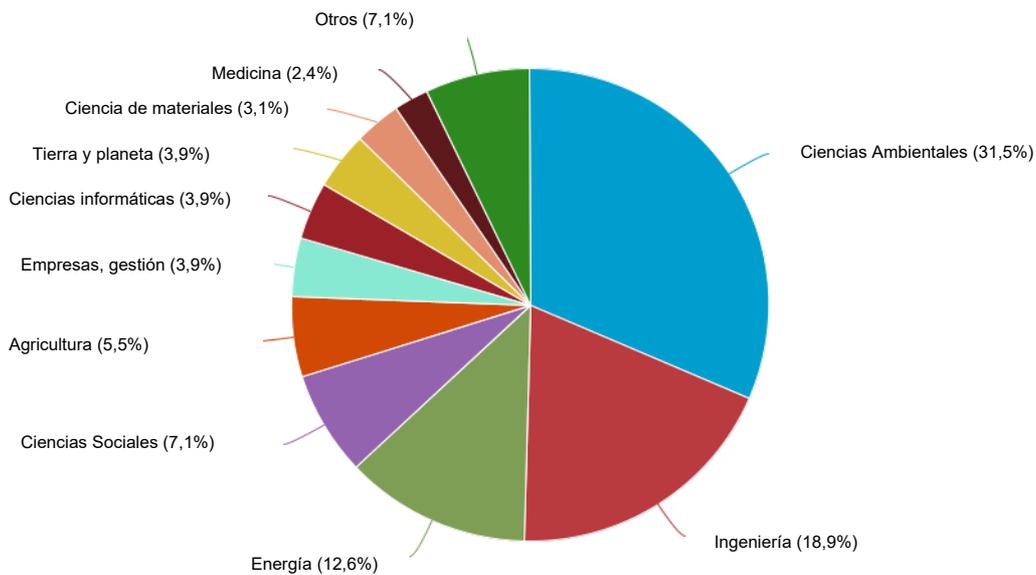


3.1.2. Documentos por área de conocimiento

De los resultados obtenidos, alrededor del 63% se concentra entre Ciencias ambientales, Ingeniería y Energía (Figura 4).

² CiteScore de una revista, equivale al número de referencias que tiene una revista durante cuatro años, dividido por el número de los documentos indexados en SCOPUS y publicados en los mismos cuatro años.

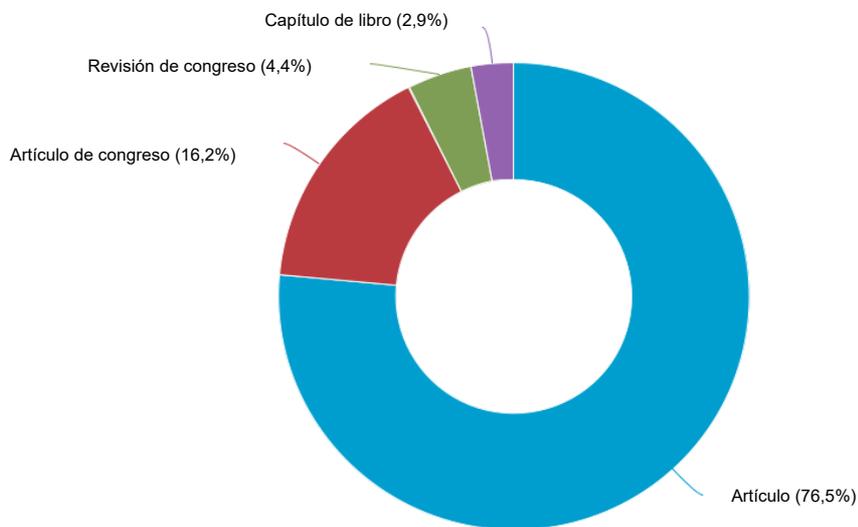
Figura 4. Documentos por área de conocimiento (SCOPUS, 2021)



3.1.3. Documentos por tipo

El 76,5% de los resultados corresponde a artículos, mientras que el 16,2% representa a artículos de congreso (Figura 5).

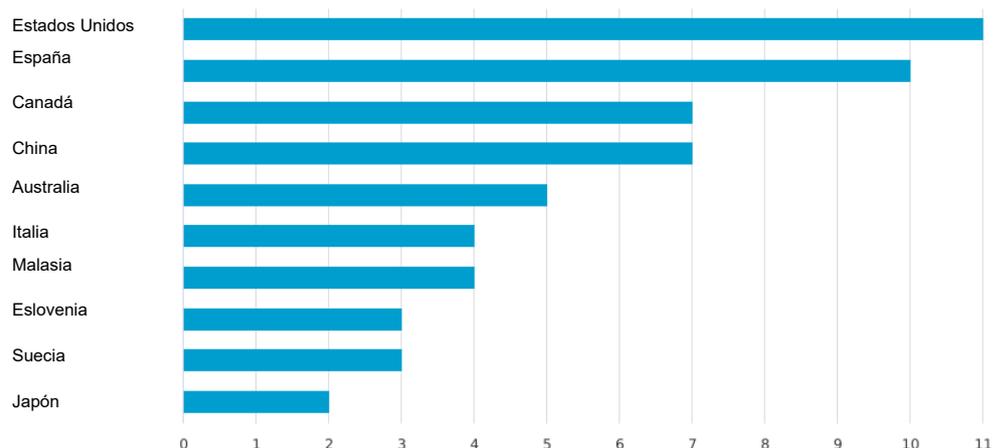
Figura 5. Documentos por tipo (SCOPUS, 2021)



3.1.4. Documentos por país

Los países con mayor número de publicaciones en esta temática son Estados Unidos, seguido por España (con 11 y 10 publicaciones, respectivamente) (Figura 6).

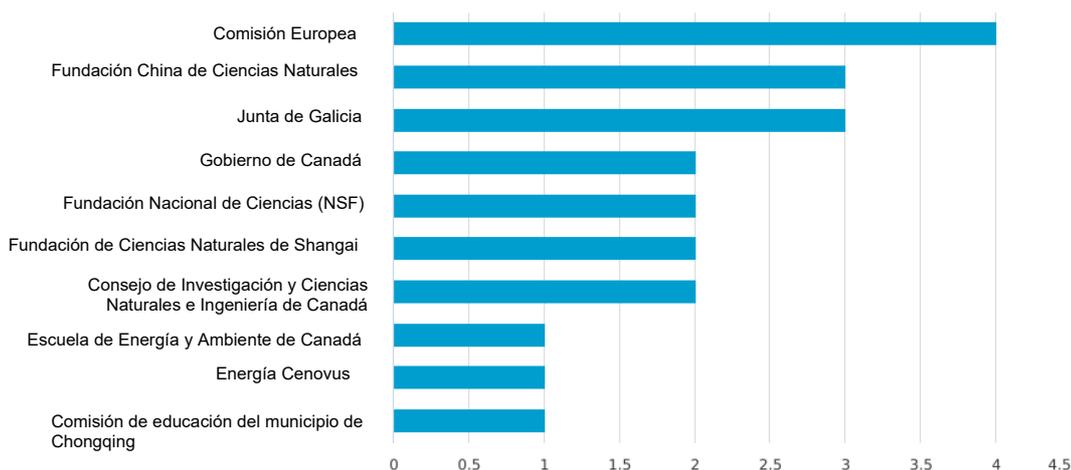
Figura 6. Documentos por país (SCOPUS, 2021)



3.1.5. Documentos por fuente de financiación

Entre las fuentes de financiación más citadas destacan: Fondos Europeos, Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China, Xunta de Galicia (Figura 7).

Figura 7. Documentos por fuente de financiación (SCOPUS, 2021)



3.2. Identificación de artículos relacionados con el objeto de estudio

Para identificar la relación directa o indirecta de cada artículo seleccionado con el objeto de estudio, se han clasificado de 1 a 3, siendo 1 el de menor relación y 3 es de mayor relación.

- 1) es la menor relación, o artículos donde la palabra clave puerto tiene que ver con la consideración del transporte al puerto de un determinado producto estudiado;
- 2) se refiere a un producto o servicio que considera “puerto” como parte estratégica en el ACV. Sea porque gran parte de las operaciones de una determinada actividad, se desarrollan dentro de un puerto y por tanto incide en varias etapas del ciclo de vida; y
- 3) es la mayor relación con las palabras clave buscadas e involucra varias actividades del sector portuario.

A partir de la clasificación propuesta, se obtienen 26 artículos entre los que tienen algún tipo de relación con el objeto de estudio (dentro del alcance propuesto). A pesar de que los 26 artículos siguen el enfoque del ciclo de vida y en una o varias etapas se relacionan

con el sector portuario, se descartan 6 de los cuales no siguen la metodología ISO 14040 y en el que no se pueden identificar las partes del ACV a analizar en este documento. No obstante, se contabilizan porque son relevantes para el análisis general de los resultados.

Finalmente 20 artículos fueron extraídos de la selección inicial. A través de la lectura, los artículos fueron agrupados por afinidad en 5 categorías, a partir de la relación con las palabras clave de búsqueda (Tabla 2).

- 1) Transporte de Contenedores (3)
- 2) Pesca (3)
- 3) Transporte de Productos (5)
- 4) Embarcaciones (4)
- 5) Gestión de Residuos (2),
- 6) Otros (3)

Tabla 2. Selección de artículos agrupados por categoría

Transporte de contenedores (3)			
Referencia	Objetivo	Método	Unidad Funcional
Chang et al., 2019	Analiza la huella de carbono de los tractores en el puerto de Kaohsiung, mediante ACV comparativo de consumo de combustible (Diesel, Eléctrico, GNL, Hidrógeno).	ISO 14040, GEI ISO 14064	tkm
Vujicic, et al., 2013	investigar el concepto de cero emisiones comparando dos tecnologías de transporte (tradicional y cero emisiones - RTG UTR).	ISO 14040/14044	1 hora de funcionamiento de los modelos (RTG o UTR) en la terminal de contenedores
Tao, Wu, 2021	Análisis estructural tanto del consumo de energía como de las emisiones de CO2 para el transporte de contenedores en el interior.	Método basado en la energía y actividades económicas (ASIF method)	Usa los datos disponibles el puerto de Yiwu-Ningbo, China. Cálculos para 2017.
Pesca (3)			
Referencia	Objetivo	Método	Unidad Funcional
García-Santiago et al., 2020	Se evaluó valorizar la biomasa descartada y subproductos de especies de peces cartilaginosos.	Ecoeficiencia: ISO 14045. ACV: ISO 14040/14044	el tratamiento de 100 kg de pescado cartilaginoso
Cao et al., 2011	Evaluar el desempeño ambiental de los sistemas de cultivo de camarón intensivos (para el mercado de exportación en Chicago) y semi intensivos (para el mercado interno en Shanghai) en la provincia de Hainan, China.	ISO 14044	1 tm de camarones vivos desde la cuna hasta la puerta de la granja (puerto), y 1 m de camarones congelados sin cabeza desde la cuna al puerto de destino.
Pelletier, Tyedmers, 2010	Evaluar un subconjunto del impacto ambiental del puerto de origen a destino asociado con la producción, procesamiento y transporte de filetes de tilapia indonesios	ISO 14040	1 t de lomos de tilapia congelados, cultivados en corrales hasta los puertos comerciales de Rotterdam y Chicago, en 2007.

	empaquetados y congelados a puertos en Chicago y Rotterdam.		1 t de tilapia viva cultivada en acuíferos y logos de Indonesia en 2007.
Hospido et al., 2006	Evaluar el proceso de fabricación de los productos de atún en conserva.	ISO 14044	1 t de atún crudo congelado entrando en fábrica
Hospido , Tyedmers, 2005	Ilustrar la escala de los impactos asociados con las operaciones de pesca de atún españolas contemporáneas y las diferencias potenciales de contrastes que surgen de las operaciones llevadas a cabo en diferentes océanos..	ISO 14044	1 t de atún congelado sin procesar

Transporte de productos (5)

Referencia	Objetivo	Método	Unidad Funcional
Biswas, Naude, 2016	Evaluación las emisiones de gases de invernadero GEI, así como la energía añadida asociada con procesos de valor agregado, productos cárnicos extraídos en un sitio minero costero en Barrow Island, Australia Occidental.	ISO 14040	1kj de valor nutricional equivalente (en términos de contenido energético del alimento) de pechugas de pollo crujientes al ajillo y albóndigas suecas transportadas a Barrow Island.
Gursel, Ostertag, 2016	Cuantifica y propone alternativas para reducir el consumo de energía incorporada e impactos ambientales del consumo de cemento (caso Singapur)	ISO 14040/14044	De la cuna a la puerta de un peso unitario de cemento Portland ordinario y agregados utilizados en la fabricación del concreto.
Iriarte, Almeida, Villalobos, 2014	Cálculo de la Huella de Carbono de la banana Ecuatoriana premium de exportación.	ISO 14040/14044 & PAS 2050	1kg de banana calidad premium llevada hasta un Puerto Europeo.
Biswas et al., 2008	Cálculo GEI	ISO 14040	1 t de trigo transportado al Puerto sudeste de Australia.
Hedayati et al., 2019	Emisiones GEI para la cadena de productos de fibra de algodón australiana (pelusa). ACV comparativo de contribuciones relativas de las diferentes industrias involucradas en la cadena de producción de la fibra de algodón; y evaluar los efectos de una variedad de opciones de mitigación en la finca.	ACV con cálculos basados en las metodologías presentadas en el Informe de Inventario Nacional (NIR) de 2013 (Gobierno de Australia, 2015)	1 t de fibra (pelusa) de algodón hasta el puerto

Embarcaciones (4)

Referencia	Objetivo	Método	Unidad Funcional
Bergmaan, Ziegler, 2019	Comparar impactos ambientales de métodos anti incrustantes de embarcaciones tradicional y alternativo.	ISO 14044	Barco de recreo sueco medio, libre de incrustaciones durante 1 año
Bicer, Dincer, 2018	Analizar impactos ambientales de los camiones cisterna y los	ISO 14044	1 tkm de transporte marítimo

	barcos de transporte marítimo impulsados por combustibles alternativos desde la cuna hasta la tumba en comparación con los convencionales impulsados por fuel pesado.		
Wang et al., 2018	Determinar una estrategia óptima de mantenimiento del casco de un ferry de ruta corta considerando los efectos y costos ambientales a largo plazo.	ACC+LCA	No declarada/ Aunque dice valoración de distintas estrategias de mantenimiento para diferentes escenarios_ Las etapas son las mismas. Cambia la duración
Sharaan, Negm, 2017	Evaluar los impactos negativos asociados con los procesos de dragado y desplazamiento de sedimentación en el puerto de Damietta.	ISO 14044 (Cuna a la tumba)	1 viaje por día
Gestión de Residuos (2)			
Referencia	Objetivo	Método	Unidad Funcional
Puccini et al., 2013	Comparar dos opciones de sedimentos dragados y sus impactos asociados.	ISO 14040/14044	Remediación durante 2 años de 56250 m3 de 61 / 5000 sedimento contaminado dragado del lecho marino del puerto de Livorno.
Zuin et al, 2009	Identificar y cuantificar los impactos ambientales causados por la gestión de residuos generados por los buques del puerto de Koper	ISO 14040	La cantidad media anual de residuos generados por la carga recogidos y gestionados en Luka Koper en 2007 (2200 t / año de residuos de buques de carga)
Otros (3)			
Raj et al., 2016	Cuantificar las emisiones GEI kWh de cableado de electricidad canadiense alimentada con gas de esquisto en los modelos de China.	GEI. ISO 14040/44.	kWh GEI
de los Reyes et al., 2020	Conocer los rangos de emisiones producidas durante el ciclo de vida de la infraestructura seleccionada.	GEI	Muelle
Cloquell Ballester et al., 2020	Evaluar la Huella de Carbono del Puerto de Valencia	Metodología de cálculo de Huella de Carbono del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, basada en ISO 14064:2018.	Carga, medida en t

Se puede diferenciar entre artículos que tienen más de el 50% de las actividades consideradas en el ACV, dentro de las instalaciones portuarias, de aquellas en las que el puerto es parte de su fase de transporte, con más o menos relevancia para cada caso. En este sentido, la categoría 3 (Transporte de productos), puede agrupar a la mayoría de los ACVs que incluyan en su transporte el paso por el puerto o aquellas instalaciones que por conveniencia están situadas en las proximidades del puerto. Sin embargo el resto de categorías, es poco comparable. Es decir, la unidad funcional es la definición clave que condiciona el resto de las etapas de ciclo de vida y no se pueden comparar. Cierta grado de similitud se puede detectar entre las variables de los artículos que se centran en pesca.

4. Discusión y conclusiones

El análisis del ciclo de vida es una metodología que requiere una inversión de tiempo y recursos significativos para asegurar la robustez de los resultados. En la revisión se verifica que varios estudios recogen los datos por periodos que van de uno (Zuin, et al., 2019; Tao, Wu, 2021) a 6 años (Cloquell Ballester et al., 2020). No obstante, resulta muy laborioso seleccionar todos los datos necesarios para el modelado de escenarios, por lo que se recurre a la literatura científica y/o datos estadísticos oficiales (Tao, Wu, 2021) y a las bases de datos comerciales contenidas en SIMAPRO o equivalentes (Hospido, Tyedmers, 2005).

Los artículos seleccionados, se basan en proyectos en los que se han implicados varios grupos de interés (Zuin et al., 2009; Puccini et al., 2013; Vujicic et al, 2013; Chang et al., 2019; Tao, Wu, 2021), por lo que la mayoría de los datos recopilados se basa en datos de campo, seguido por publicaciones oficiales y bases de datos. Es conveniente que todos los implicados estén dispuestos a colaborar en la recopilación de datos de inventario y asegurar la fiabilidad de la información.

Respecto a la revisión de la literatura efectuada, es conveniente que sea ampliada a más bases de datos y metodologías. Es decir, debe incluir Web of Science y Documentos Oficiales (como informes de proyectos europeos del sector marítimo), para asegurar la recopilación de toda la información relacionada con ACV y puertos. Asimismo, el concepto de “bola de nieve” usado en algunas revisiones (Bakker,2010), debe usarse para extender la revisión hacia publicaciones relevantes más allá de las palabras clave.

La búsqueda debe ser ampliada a conceptos relacionados con la reducción de impactos ambientales, mediante la aplicación de varias metodologías que cumplan este objetivo.

Como conclusiones de esta primera aproximación a la revisión del uso del ACV en el sector portuario, se detecta que no hay una gran cantidad de publicaciones con las palabras clave. El auge de la temática comienza en el año 2010 con el aumento de publicaciones. La gestión de embarcaciones, residuos, consumo de energía son las áreas en las que aún queda mucho por explorar y que se deben abordar en profundidad desde un enfoque del ciclo de vida.

Asimismo, se sugiere optimizar los tiempos de recogida de datos, mediante un sistema de medición de los entradas y salidas de materiales, energía y residuos, que nos permitan cuantificar aspectos e impactos ambientales y en consecuencia, proponer estrategias de gestión encaminadas a mejorar la sostenibilidad ambiental de la gestión portuaria.

5. Referencias

Ballester, V. C., Lo-lacono-ferreira, V. G., Artacho-Ramírez, M. Á., Capuz-Rizo, S. F. (2020). The carbon footprint of valencia port: A case study of the port authority of

- Valencia (Spain). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218157>
- Beuren, F. H., Gomes Ferreira, M. G., Cauchick Miguel, P. A. (2013). Product-service systems: A literature review on integrated products and services. *Journal of Cleaner Production*, 47, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.028>
- Bergman, K., Ziegler, F. (2019). Environmental impacts of alternative antifouling methods and use patterns of leisure boat owners. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(4), 725–734. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1525-x>
- Bicer, Y., Dincer, I. (2018). Clean fuel options with hydrogen for sea transportation: A life cycle approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(2), 1179–1193. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.157>
- Biswas, W. K., Barton, L., Carter, D. (2008). Global warming potential of wheat production in Western Australia: A life cycle assessment. *Water and Environment Journal*, 22(3), 206–216. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00127.x>
- Biswas, W. K., Naude, G. (2016). A life cycle assessment of processed meat products supplied to Barrow Island: A Western Australian case study. *Journal of Food Engineering*, 180, 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.008>
- Cao, L., Diana, J. S., Keoleian, G. A., Lai, Q. (2011). Life cycle assessment of Chinese shrimp farming systems targeted for export and domestic sales. *Environmental Science and Technology*, 45(15), 6531–6538. <https://doi.org/10.1021/es104058z>
- Chang, C. C., Huang, P. C., Tu, J. S. (2019). Life cycle assessment of yard tractors using hydrogen fuel at the Port of Kaohsiung, Taiwan. *Energy*, 189, 116222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116222>
- de los Reyes, R. S., Fernández-Sánchez, G., Esteban, M. D., Rodríguez, R. R. (2020). Carbon footprint of a port infrastructure from a life cycle approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(20), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207414>
- Fraccascia, L., Giannoccaro, I., Albino, V. (2019). Business models for industrial symbiosis: A taxonomy focused on the form of governance. *Resources, Conservation and Recycling*, 146(March), 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.016>
- García-Santiago, X., Franco-Uría, A., Antelo, L. T., Vázquez, J. A., Pérez-Martín, R., Moreira, M. T., Feijoo, G. (2020). Eco-efficiency of a marine biorefinery for valorization of cartilaginous fish biomass. *Journal of Industrial Ecology*, 1–13. <https://doi.org/10.1111/jiec.13066>
- Gursel, A. P., Ostertag, C. P. (2016). Impact of Singapore's importers on life-cycle assessment of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 118, 140–150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.051>
- Hedayati, M., Brock, P. M., Nachimuthu, G., Schwenke, G. (2019). Farm-level strategies to reduce the life cycle greenhouse gas emissions of cotton production: An Australian perspective. *Journal of Cleaner Production*, 212, 974–985. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.190>
- Hospido, A., Vazquez, M. E., Cuevas, A., Feijoo, G., Moreira, M. T. (2006). Environmental assessment of canned tuna manufacture with a life-cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 47(1), 56–72. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.10.003>

- Hospido, A., Tyedmers, P. (2005). Life cycle environmental impacts of Spanish tuna fisheries. *Fisheries Research*, 76(2), 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2005.05.016>
- Iriarte, A., Almeida, M. G., Villalobos, P. (2014). Carbon footprint of premium quality export bananas: Case study in Ecuador, the world's largest exporter. *Science of the Total Environment*, 472, 1082–1088. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.072>
- International Standard Organization [ISO], (2006a). *Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia (ISO 14040:2006)*. AENOR.
- International Standard Organization [ISO], (2006b). *Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Requisitos y directrices (ISO 14044:2006)*. AENOR.
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., Pimentel, C., Matias, C. O. (2019). The Potential of Industrial Symbiosis: Case Analysis and Main Drivers and Barriers to Its Implementation. *Sustainability (Switzerland)*, 11, 1–68.
- Pelletier, N., Tyedmers, P. (2010). Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. *Journal of Industrial Ecology*, 14(3), 467–481. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00244.x>
- Puccini, M., Seggiani, M., Vitolo, S., Iannelli, R. (2013). Life cycle assessment of remediation alternatives for dredged sediments. *Chemical Engineering Transactions*, 35, 781–786. <https://doi.org/10.3303/CET1335130>
- Raj, R., Ghandehariun, S., Kumar, A., Linwei, M. (2016). A well-to-wire life cycle assessment of Canadian shale gas for electricity generation in China. *Energy*, 111, 642–652. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.079>
- SCOPUS, 2021. Analyze search results. Disponible en: <https://www.scopus.com>.
- Sassanelli, C., Urbinati, A., Rosa, P., Chiaroni, D., Terzi, S. (2020). Addressing circular economy through design for X approaches: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 120, 103245. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103245>
- Sharaan, M., Negm, A. (2017). Life Cycle Assessment of Dredged Materials Placement Strategies: Case Study, Damietta Port, Egypt. *Procedia Engineering*, 181, 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.375>
- Tao, X., Wu, Q., Zhu, L. (2017). Mitigation potential of CO₂ emissions from modal shift induced by subsidy in hinterland container transport. *Energy Policy*, 101(December 2016), 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.11.049>
- UNCTAD, 2018. Informe sobre el transporte Marítimo. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2018_es.pdf
- UNCTAD, 2020. Executive Summary. Review of maritime transport. Available in: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020summary_en.pdf
- Vujičić, A., Zrnić, N., Jerman, B. (2013). Ports sustainability: A life cycle assessment of zero emission cargo handling equipment. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 59(9), 547–555. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2012.933>
- Yadav, P., Samadder, S. R. (2018). A critical review of the life cycle assessment studies on solid waste management in Asian countries. *Journal of Cleaner Production*, 185, 492–515. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.298>
- Wang, H., Oguz, E., Jeong, B., Zhou, P. (2018). Life cycle cost and environmental impact analysis of ship hull maintenance strategies for a short route hybrid ferry. *Ocean Engineering*, 161(May), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.084>

Zuin, S., Belac, E., Marzi, B. (2009). Life cycle assessment of ship-generated waste management of Luka Koper. *Waste Management*, 29(12), 3036–3046. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.025>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo
Sostenible**

