

Integración de un Sistema Indicadores Sustentables Portuarios a Través de la Metodología Fuzzy-Delphi

Hugo Javier Buenrostro Aguilar

Doctor en Ciencias de la Administración,
Universidad Nacional Autónoma de México

Nadima Simón Domínguez

Doctora en Ciencias de la Administración. Profesora Emérita de la
Universidad Nacional Autónoma de México

[Doi: 10.19044/esipreprint.10.2022.p680](https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2022.p680)

Approved: 29 October 2022

Posted: 31 October 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Buenrostro Aguilar H.J. & Simón Domínguez N. (2022). *Integración de un Sistema Indicadores Sustentables Portuarios a Través de la Metodología Fuzzy-Delphi*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2022.p680>

Resumen

La investigación relacionada a la sustentabilidad portuaria es de suma relevancia dada la importancia del transporte marítimo en el comercio internacional y de los puertos como interface entre los distintos modos de transporte y generadores de valor dentro de las cadenas globales de suministro. Por lo tanto, el propósito de este trabajo es integrar un sistema de indicadores sustentables portuarios que contemple las dimensiones económica, social y ambiental de manera integral, pues existe un sesgo hacia los temas ambientales y económicos que limitan el avance hacia puertos sustentables. Para ello se compararon tres sistemas de indicadores portuarios con enfoque sustentable, de las similitudes encontradas se determinaron indicadores que fueron evaluados con la metodología *Fuzzy-Delphi* para reducir la ambigüedad y la incertidumbre en su elección. Resultado de la aplicación de la metodología mencionada se integró un sistema de indicadores sustentables portuarios que contiene las tres dimensiones de la sustentabilidad; en próximas investigaciones se propone que el sistema resultante sea evaluado por autoridades portuarias para conocer su aplicabilidad, limitantes y temas por incluir.

Palabras clave: Sustentabilidad portuaria, indicadores sustentables, metodología *Fuzzy-Delphi*

Integration of a System of Sustainable Port Indicators through the Fuzzy-Delphi Methodology

Hugo Javier Buenrostro Aguilar

Doctor en Ciencias de la Administración,
Universidad Nacional Autónoma de México

Nadima Simón Domínguez

Doctora en Ciencias de la Administración. Profesora Emérita de la
Universidad Nacional Autónoma de México

Abstract

Research related to port sustainability is of utmost relevance given the importance of maritime transport in international trade and of ports as an interface between different modes of transport and value generators within global supply chains. Therefore, the purpose of this work is to integrate a system of sustainable port indicators that considers the economic, social and environmental dimensions in an integrated manner, as there is a bias towards environmental and economic issues that limit progress towards sustainable ports. For this purpose, three systems of port indicators with a sustainable approach were compared. From the similarities found, indicators were determined and evaluated with the Fuzzy-Delphi methodology to reduce ambiguity and uncertainty in their choice. As a result of the application of the aforementioned methodology, a system of sustainable port indicators was integrated which contains the three dimensions of sustainability; in future research, it is proposed that the resulting system be evaluated by port authorities to find out its applicability, limitations and issues to be included.

Keywords: Port sustainability, sustainable indicators, Fuzzy-Delphi methodology

Introducción

El estudio de la sustentabilidad se relaciona a una interconexión de diversas problemáticas que han de ser resueltas de manera integral a fin de alcanzar la satisfacción de las necesidades ambientales y socioeconómicas, tanto humanas como del entorno, presentes como futuras; lo que envuelve lograr una equidad intergeneracional, derechos humanos, resolver problemas sociales y económicos en los que se encuentra la pobreza como reto fundamental y oportunidad para el avanza general de la sociedad, todo lo anterior con un irrestricto cuidado del medio ambiente.

Muchas han sido las soluciones propuestas, pero no se ha alcanzado la transversalidad de las mismas, debido en gran medida al dinamismo y complejidad de la realidad actual. Ante esta situación las organizaciones en general se ven obligadas, sea por presiones sociales o por normativas, a modificar su forma de operar, de administrarse, de relacionarse con su medio para alcanzar objetivos económicos positivos, sin dejar de lado las necesidades sociales, internas y externas de la organización, y el cuidado del medio ambiente.

En este sentido, los puertos marítimos no son ajenos a la situación antes descrita; por un lado, éstos son un factor de gran envergadura para las cadenas de distribución y suministro en el nivel internacional, se relacionan del mismo modo con el desarrollo y crecimiento económico de las comunidades que albergan sus recintos (Wang y Zhao, 2016; United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], 2009; UNCTAD, 2015; Dwarakish y Salim, 2015; Asgari *et al.*, 2015; Hossain *et al.*, 2021; Lavissière *et al.*, 2020).

No obstante, son al mismo tiempo responsables de externalidades negativas, entre las que destacan el estrés de infraestructuras, congestión de vialidades, accidentes, contaminación del aire por gases de efecto invernadero, contaminación del agua, contaminación por ruido y vibraciones, así como desechos vertidos en el entorno marino; todo lo cual ha generado una presión cada vez mayor por mejorar la conciencia ecológica, aumentar el uso eficiente de los recursos sin dejar de lado la competencia de las cadenas de transporte (Acciaro *et al.*, 2014; Lee y Notteboom, 2014; Denktas-Sakar y Karatas-Cetin, 2012; Parola y Maugeri, 2013; Le, *et al.*, 2014; Hiranandani, 2014; Hossain *et al.*, 2021).

Esto debe lograrse con estrategias portuarias, las cuales no sólo procuran el buen manejo de las mercancías y el cuidado ambiental, del mismo modo incluyen una correcta relación con los actores de la región donde se ubican a fin de alcanzar un desarrollo social, lo cual les permitirá finalmente lograr una ventaja competitiva y una mayor seguridad marítima; de esta manera los puertos sustentables son producto de estrategias a largo plazo con un comportamiento responsable de la administración portuaria, la

cual involucra todas las actividades propias del puerto y con éstas de sus empleados agregando valor para los clientes de los puertos, se refiere entonces a una transición en procesos referentes a la visión, creación de redes, elaboración de estrategias y cambio en la planificación para alcanzar resultados específicos dentro de los ámbitos económico, social y ambiental (Sislian *et al.*, 2016; Pavlic *et al.*, 2014; Burškytė y Belous; 2012; Saengsupavanich *et al.*, 2009; Bjerkan *et al.*, 2021).

A lo anterior, Le, *et al.* (2014) introducen la administración portuaria sustentable como un paradigma, tanto para los economistas como para los ecologistas, ésta permite administrar el desempeño ambiental del puerto utilizando diversas soluciones que controlan y minimizan residuos, ayudando así a promover una producción limpia a través de una revisión de sus procesos productivos y procedimientos para mejorar su eficiencia y reducir los impactos ambientales al reconocer que los puertos marítimos tienen un importante papel económico al ser claves en el tráfico internacional de carga, al mismo tiempo que buscan nuevas oportunidades para añadir valor a sus actividades transformándose en centros industriales que generan grandes beneficios económicos.

En este sentido la investigación de Dinwoodie *et al.* (2012) destaca que los puertos requieren herramientas para su administración sustentable que faciliten la mitigación de riesgos potenciales y animen a las autoridades portuarias a comprometerse con las agendas sustentables y a administrar propuestas de manera proactiva. Lo anterior, según los autores, ha sido estudiado desde las obligaciones ambientales en cadenas de suministro, pero no desde las autoridades portuarias, dicha omisión genera una brecha entre las aspiraciones y las prácticas ambientales, es decir las autoridades portuarias rara vez integran evaluaciones ambientales, predominantemente físicas, con estrategias de negocios.

Por ello, el principal reto que plantea integrar una administración sustentable es romper la inercia existente donde la consideración única es el factor económico como variable de desarrollo y lograr que las variables sociales y ambientales tomen importancia para dar lugar a un desarrollo y una administración sustentable de los puertos. En otras palabras, las agendas de la sustentabilidad desafían a las autoridades portuarias de todo el mundo a encontrar maneras de operar y administrar sus puertos, eficiente y efectivamente en términos de desarrollo económico, social y ambiental (Roh *et al.*, 2016).

Revisión de la literatura

Es notable el avance en la investigación relacionada a la sustentabilidad de los puertos marítimos; no obstante, existe un vacío en la literatura referente a la sustentabilidad de puertos marítimos, ya que se

enfocan principalmente a la dimensión ambiental (Acciaro, 2015; Yap y Lam, 2013; Puig *et al.*, 2014; Puig *et al.* 2015; Bergqvist *et al.*, 2015; Argyriou *et al.*, 2022), si bien algunos autores incorporan algunos aspectos de la dimensión económica, solo algunos trabajos (Iannone, 2012; Denktas-Sakar y Karatas-Cetin, 2012; Wang y Zhao, 2016; Sislian, *et al.*, 2016; Pavlic, *et al.*, 2014; Sánchez, 2015; Hiranandani, 2014; Argyriou *et al.*, 2022) se refieren también a los aspectos sociales. Otros autores como Starik y Kanashiro (2013) abordan la administración sustentable incorporando sus tres dimensiones: económica, social y ambiental; empero, no hacen referencia a la administración sustentable de puertos marítimos. Por otra parte, Le *et al.* (2014) y Dinwoodie *et al.* (2012) aun cuando se refieren a la administración sustentable de puertos marítimos únicamente incorporan la dimensión ambiental; sin embargo, al final de su trabajo proporcionan algunos elementos que darían paso a una administración sustentable de puertos marítimos.

De manera análoga, Hiranandani (2014) observa que los estudios de las prácticas portuarias son limitados y sesgados a aspectos ambientales, a lo que agrega que no contienen las perspectivas de diversos actores incluyendo a cargadores, empresas relacionadas con el puerto y la comunidad local y global, además de que faltan datos para monitorear los impactos ambientales, los costos económicos de la aplicación de estas prácticas y la complejidad de las regulaciones internacionales, regionales y nacionales; aunado a ello, resalta las limitaciones para la evaluación de la sustentabilidad de los puertos marítimos sin referirse específicamente a la administración sustentable de éstos.

Del mismo modo Denktas-Sakar y Karatas-Cetin (2012) argumentan que el foco principal de la investigación académica ha sido mayoritariamente en la dimensión ambiental, de manera intrínseca la económica, dejando de lado la dimensión social. Lo anterior requiere adoptar un enfoque integral para lograr los objetivos económicos, sociales y ambientales, de lo contrario el concepto de puerto verde ligado a la percepción social de las prioridades ambientales no evolucionará a uno que incorpore las otras dimensiones llegando así a puertos sustentables haciendo de estos lugares óptimos con rendimientos mayores y adopción de medidas eficaces más no reactivas (Iannone, 2012; Acciaro, 2015; Yap y Lam, 2013).

Así, Roh *et al.* (2016) argumentan que la administración y operación de los puertos se ve presionada por las agendas hacia la sustentabilidad mismas que están desafiando a las autoridades portuarias de todo el mundo a encontrar maneras de operar y administrar eficiente y efectivamente sus puertos en términos de desarrollo económico, social y ambiental. Por ello, se observa la necesidad de estudios multidisciplinarios que aborden el tema de la administración portuaria sustentable de manera integral, sólo de esta forma

se relacionarán los aspectos económicos, sociales y ambientales de las actividades que se realizan dentro de los puertos incluyendo los diversos actores o grupos de interés, esto permitirá establecer estrategias, planes de acción e indicadores sustentables.

Indicadores para la evaluación sustentable portuaria

El estudio y la medición de la sustentabilidad portuaria, específicamente en su administración se caracteriza por sesgos que provocan considerar únicamente alguna, o algunas, de las dimensiones del enfoque sustentable. El grueso de las metodologías se centra en la evaluación a través de normas y certificaciones internacionales relacionadas a la calidad, la protección del ambiente y el uso eficiente de los recursos, en especial los energéticos; si bien se han incorporado en otras metodologías indicadores relacionados a la administración y el rendimiento operacional aún se aqueja la falta de indicadores que integren las tres dimensiones de la sustentabilidad. No obstante, se presentan avances en este rubro integrando el aspecto social al analizar la importancia de las partes interesadas, como lo son los trabajadores, la autoridad portuaria, empresas que ofrecen servicios directos e indirectos y la propia población que vive en torno al puerto.

- *Sistemas de indicadores con perspectiva sustentable*

Derivado de la certificación Sistema de Revisión Ambiental Portuaria (PERS, por sus siglas en inglés, *Port Environmental Review System*), emanada de la iniciativa EcoPorts de la *European Sea Ports Organisation* (ESPO), Balbaa y Liyanage (2010) proponen un sistema de indicadores denominado *Integrated Method for Environmental Sustainability Management* (IMESM) que integra las cuestiones ambientales a través del PERS y las de gestión de calidad de la *European Foundation for Quality Management* (EFQM), ésta considera que los puertos se enfrentan a desafíos como falta de mentalidad sustentable y cultura orientada a la calidad.

De suerte tal que IMESM mezcla las herramientas del PERS y la EFQM, la primera como aquella que provee la base para el desarrollo de un sistema de gestión ambiental mediante aspectos ambientales, criterios políticos y de rendimientos económicos; en este punto se señala que ésta se liga al Método de Autodiagnóstico (SDM, del inglés, *Self Diagnosis Method*), el cual, en esencia, es un cuestionario de análisis estratégico que apoya a los administradores portuarios a realizar una revisión periódica de su desempeño en la gestión ambiental basado en una lista de verificación que permite comparar la situación actual con años anteriores para, con ésta, evaluar las mejoras ambientales del puerto. Por otra parte, el mecanismo propuesto por la EFQM ayuda a las organizaciones a evaluar y mejorar sus servicios a fin de garantizar que el desempeño satisface las expectativas y necesidades de las partes interesadas mediante un enfoque holístico y

flexible para aplicarse en cualquier organización, teniendo en el centro de la evaluación los procesos y el liderazgo para la satisfacción de los clientes. El resultado de la comparación y complementación de dichas herramientas, realizada por Balbaa y Liyanage (2010) considera la generación de residuos y otros problemas ambientales, pues, integra aspectos críticos como las personas, la organización y la sociedad, incluyendo así la idea de un equilibrio sustentable, a largo plazo, de las partes interesadas apoyado por procesos, políticas y estrategias. Por ello, su propuesta se utiliza como una herramienta efectiva y práctica de la administración sustentable de los puertos.

De manera similar, Wang y Zhao (2016) proponen un sistema de indicadores para evaluar la sustentabilidad portuaria, lo que se realiza por medio de cinco indicadores estándar que contienen indicadores jerárquicos; el primero de ellos es la condición de la infraestructura portuaria, éste determina la capacidad y eficiencia del puerto; el segundo indicador es la capacidad de operación de los puertos, es decir, el volumen de carga manejada, esto ayuda a medir la competitividad del puerto y refleja los beneficios por ingresos que puede generar; el tercer indicador es la eficiencia de las operaciones, éste busca representar las operaciones del puerto; el cuarto indicador hace referencia al desarrollo puerto-ciudad, es de suma importancia pues el puerto se encuentra en una relación directa con la ciudad donde se ubica; finalmente, el último indicador es el relacionado con al nivel de gobernabilidad ambiental. Los cinco indicadores anteriores construyen un sistema que evalúa de manera integral la capacidad del puerto y su relación con la economía, los recursos y el medio ambiente, dicho sistema se compone de 19 indicadores específicos basados en estudios previos y consulta a expertos.

Un tercer esfuerzo por construir un sistema de indicadores portuarios sustentables es el realizado por Roh *et al.* (2016) quienes enfatizan la necesidad de las autoridades portuarias de planificar y administrar sus operaciones con una perspectiva sustentable mediante un enfoque integrado que mejore sus evaluaciones económicas, sociales y ambientales. Identifican para ello aspectos internos y externos, los primeros hacen referencia a la administración ambiental interna, la planificación optimizada de la operación, la reducción de costos y programas sociales internos; los aspectos externos contienen criterios relacionados a la administración ambiental externa, la colaboración ambiental con las líneas navieras, programas sociales externos y la colaboración en evaluación externa.

Además, resaltan que la perspectiva sustentable es un elemento crítico de la estrategia, planificación e inversión portuaria que contribuye, en el largo plazo, a la obtención de beneficios tanto internos al recinto portuario como externos a éste; el sistema propuesto por Roh *et al.* (2016) destaca por

la amplitud de relaciones que busca y destacar la dimensión social, al señalar que la buena reputación pública es un valor añadido a la calidad del servicio portuario, de allí que sea indispensable implementar actividades sociales externas que otorgan fiabilidad y confianza en la opinión de los clientes ayudando así, en el largo plazo, en el aspecto económico al atraer nuevos clientes y ofrecer nuevos servicios. Aunado a lo anterior deben existir programas que ayuden a la ciudad en la que se encuentran inmersos, dando oportunidades de pasantías o realizando actividades sociales; fundamental en este aspecto es la colaboración que debe existir con la academia, institutos de investigación y otros agentes externos que puedan evaluar el desempeño de las acciones implementadas en pro del desarrollo sustentable.

Los sistemas de indicadores portuarios sustentables mencionados permiten observar un esfuerzo por integrar las dimensiones económica, social y ambiental que permiten, a las autoridades portuarias, avanzar hacia la sustentabilidad de los puertos; cada uno de estos sistemas considera aspectos diversos que tiene que ser analizados a profundidad para conjuntar un sistema de indicadores portuarios que permita formular estrategias, planes y acciones verdaderamente sustentables.

Metodología

A partir de los sistemas de indicadores portuarios sustentables propuestos por Balbaa y Liyanage (2010), Wang y Zhao (2016) y Roh *et al.* (2016) se realizó una comparación de sus criterios para determinar las coincidencias y poder determinar un conjunto de indicadores que inicialmente cumplieran con los principios establecidos por Wang y Zhao (2016:2), es decir:

- Cientificidad: los indicadores deben ser seleccionados científicamente debido a la complejidad de factores que intervienen en el desarrollo de los puertos.
- Factibilidad: deben de ser cuantitativos y comparables.
- Independencia: no deben de afectarse entre sí con la finalidad de asegurar un resultado claro del sistema.
- Complementarios: el sistema resultante debe reflejar las condiciones y factores que influyen en los puertos.
- Simplicidad: por las limitaciones prácticas, se deberá elegir aquellos que realmente sean representativos.
- Jerarquía: se debe construir el sistema en capas en función de la evaluación requerida.
- Dinamismo: al ser la sustentabilidad dinámica el sistema deberá tener esta misma característica para reflejar el desarrollo del puerto.

Una vez identificados los indicadores similares en los tres sistemas comparados, y con la finalidad de generar un lenguaje común, se homologaron a los criterios establecidos por la *Global Reporting Initiative* (GRI, 2022), lo que dio como resultado 19 indicadores (tabla 1).

Tabla 1. Indicadores homologados

| Categoría | Indicador |
|------------------|---|
| Economía | C1. Valor económico directo generado y distribuido |
| | C2. Consecuencias económicas y otros riesgos y oportunidades para las actividades de la organización que se derivan del cambio climático |
| | C3. Desarrollo e impacto de la inversión en infraestructuras y los tipos de servicios |
| | C4. Impactos económicos indirectos significativos y alcance de los mismos |
| Ambiental | C5. Consumo energético interno |
| | C6. Reducción del consumo energético |
| | C7. Captación total de agua según la fuente |
| | C8. Descripción de los impactos más significativos en la biodiversidad de áreas protegidas o áreas de alta biodiversidad no protegidas, derivados de las actividades, los productos y los servicios |
| | C9. Emisiones directas de gases de efecto invernadero |
| | C10.Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero |
| | C11. Grado de mitigación del impacto ambiental de los productos y servicios |
| Social | C12. Número y tasa de contrataciones y rotación media de empleados, desglosados por grupo etario, por sexo y por región |
| | C13. Prestaciones sociales para los empleados a jornada completa que no se ofrecen a los empleados temporales o a media jornada, desglosadas por ubicaciones significativas de actividad |
| | C14. Porcentaje de trabajadores que está representado en comités formales de salud y seguridad conjuntos para dirección y empleados, establecidos para ayudar a controlar y asesorar sobre programas de salud y seguridad en el trabajo |
| | C15. Promedio de horas de capacitación anuales por empleado, desglosado por sexo y por categoría laboral |
| | C16. Programas de gestión de habilidades y de formación continua que fomentan la empleabilidad de los trabajadores y les ayudan a gestionar el final de sus carreras profesionales |
| | C17. Porcentaje de centros donde se han implantado programas de desarrollo, evaluaciones de impactos y participación de la comunidad local |
| | C18. Centros de operaciones con efectos negativos significativos, reales o potenciales, sobre las comunidades locales |
| | C19. Resultados de las encuestas para medir la satisfacción de los clientes |

Elaboración propia con información de: Balbaa y Liyanage (2010), Wang y Zhao (2016), Roh *et al.* (2016) y (GRI, 2022).

Después de identificar similitudes y homologar a la GRI se optó por la metodología *Fuzzy-Delphi*, derivado de las incertidumbres generadas al momento de decidir los indicadores; ésta tiene la finalidad de disminuir la incertidumbre y la impresión de la evaluación optimizando así las estrategias de toma de decisiones. Esta metodología se basa en el método *Delphi* tradicional que es un tipo de método colectivo de toma de decisiones con varias rondas de cuestionarios anónimos realizados para solicitar la opinión de expertos (Ho y Wang, 2008; Reguant-Álvarez y Torrado-Fonseca, 2016). El método *Fuzzy-Delphi* disminuye el tiempo y rondas de las encuestas, evita distorsionar las opiniones de los expertos, expresa claramente la estructura semántica de los elementos predichos y considera la naturaleza difusa durante el proceso de la entrevista resolviendo la falta de claridad de la comprensión común de las opiniones de expertos al momento de preseleccionar los indicadores importantes para su posterior clasificación (Ho y Wang, 2008; Kabir y Sultana; 2013; Wang *et al.*, 2018; Hsu *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2016; Bouzon *et al.*; 2016).

Se tomaron como base para esta investigación los trabajos de Ho y Wang (2008), Hsu, Lee y Kreng (2010) y de Bouzon *et al.* (2016) quienes, a su vez, se basaron en la metodología propuesta por Ishikawa *et al.* (1993) quienes utilizaron el método del máximo-mínimo y la puntuación difusa para compilar las opiniones de los expertos; así los pasos seguidos fueron:

1. Identificar los posibles indicadores relacionados con el estudio.
2. Recopilar opiniones del grupo de expertos, para evaluar la relevancia de cada indicador mediante el uso de variables lingüísticas en los cuestionarios, donde la escala va de 1 a 7 según su nivel de desacuerdo o de acuerdo.
3. Configurar los números difusos triangulares, ello permite calcular el valor de evaluación de cada indicador otorgado por los expertos a través del modelo general de la media geométrica, lo cual se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$\tilde{w}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), a_{ij} \leq b_{ij} \leq c_{ij} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$a_{ij} = \min(M_{ijk}) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$b_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n M_{ijk}}, k = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Ec. 3})$$

$$c_{ij} = \max(M_{ijk}) \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde M_{ij} representa el valor de evaluación de los expertos para cierto indicador; a_{ij} indica el valor mínimo de la evaluación de todos los expertos; b_{ij} indica la media geométrica del valor de evaluación de todos los

expertos; c_{ij} indica el valor máximo de la evaluación de todos los expertos; n es el número de expertos.

4. Conversión del número difuso a número nítido, se utiliza el método del centro de gravedad para dicho proceso.

$$S_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3}, j = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Ec. 5})$$

5. Identificación de criterios importantes, se hace comparando el peso difuso (*fuzzy weight*, \tilde{w}_{ij}), convertido a número nítido, de cada indicador con el umbral α , el cual se calcula con la media del peso difuso de todos los indicadores. El principio de detección es el siguiente:
 - a. Si $S_j \geq \alpha$ entonces el indicador j es aceptado.
 - b. Si $S_j < \alpha$ entonces el indicador j es rechazado.

Para determinar los posibles indicadores se usó el resultado emanado de la comparación de los trabajos de Balbaa y Liyanage (2010), Wang y Zhao (2016), Roh *et al.* (2016); posterior a ello se conformó un panel de expertos, mismo que fue integrado por consultores, académicos, operadores logísticos y funcionarios portuarios, en total el panel se compuso por ocho expertos en temas de sustentabilidad a quienes se les solicitó su opinión sobre los indicadores en una escala de 1 a 7, donde 1 corresponde a la variable lingüística “muy en desacuerdo” y 7 “muy de acuerdo”.

Una vez que se obtuvieron las respuestas de los expertos, se calcularon los números triangulares difusos, o peso difuso; a modo de ejemplificación el número difuso para el indicador Valor económico directo generado y distribuido (C1) el número difuso triangular sería (3,5.225179,7) que cumple con la regla de la ecuación 1.

Ya obtenidos los números difusos triangulares éstos se convirtieron en números nítidos (ecuación 5), para el indicador mencionado su número nítido fue de 5.0750660; finalmente, se procedió a identificar el umbral α con el fin de aceptar o rechazar los indicadores que no cumplieran con el principio de detección, de tal manera –prosiguiendo con el indicador ejemplificado- se obtuvo la media de los números nítidos, es decir, $\alpha = 5.065298$, entonces como 5.0750660 es mayor al valor de alfa el criterio es aceptado (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados

| Criterio | | Peso Difuso | | | Número Nítido | Resultado |
|------------------|-----|-------------|----------|---|---------------|-----------|
| Económico | C1 | 3 | 5.225179 | 7 | 5.075060 | Aceptado |
| | C2 | 3 | 5.482684 | 7 | 5.160895 | Aceptado |
| | C3 | 4 | 5.663452 | 7 | 5.554484 | Aceptado |
| | C4 | 3 | 4.979508 | 7 | 4.993169 | Rechazado |
| Ambiental | C5 | 5 | 6.191977 | 7 | 6.063992 | Aceptado |
| | C6 | 3 | 5.444206 | 7 | 5.148069 | Aceptado |
| | C7 | 1 | 4.738137 | 7 | 4.246046 | Rechazado |
| | C8 | 3 | 5.678068 | 7 | 5.226023 | Aceptado |
| | C9 | 6 | 6.606828 | 7 | 6.535609 | Aceptado |
| | C10 | 1 | 5.281096 | 7 | 4.427032 | Rechazado |
| | C11 | 3 | 5.569706 | 7 | 5.189902 | Aceptado |
| Social | C12 | 3 | 4.499494 | 7 | 4.833165 | Rechazado |
| | C13 | 2 | 4.538466 | 6 | 4.179489 | Rechazado |
| | C14 | 1 | 3.980316 | 7 | 3.993439 | Rechazado |
| | C15 | 4 | 5.002197 | 7 | 5.334066 | Aceptado |
| | C16 | 4 | 5.430192 | 7 | 5.476731 | Aceptado |
| | C17 | 4 | 6.021651 | 7 | 5.673884 | Aceptado |
| | C18 | 1 | 3.847492 | 7 | 3.949164 | Rechazado |
| | C19 | 3 | 5.541357 | 7 | 5.180452 | Aceptado |

Como resultado el sistema de indicadores resultante se compone de 12 criterios, de éstos tres son económicos, cinco son ambientales y cuatro sociales; a continuación, se desglosan los criterios aceptados:

- Dimensión económica
 - Valor económico directo generado y distribuido.
 - Consecuencias económicas y otros riesgos y oportunidades para las actividades de la organización que se derivan del cambio climático.
 - Desarrollo e impacto de la inversión en infraestructuras y los tipos de servicios.
- Dimensión ambiental
 - Consumo energético interno.
 - Reducción del consumo energético.
 - Descripción de los impactos más significativos en la biodiversidad de áreas protegidas o áreas de alta biodiversidad

- no protegidas, derivados de las actividades, los productos y los servicios.
- Emisiones directas de gases de efecto invernadero.
- Grado de mitigación del impacto ambiental de los productos y servicios.
- Dimensión social
 - Promedio de horas de capacitación anuales por empleado, desglosado por sexo y por categoría laboral.
 - Programas de gestión de habilidades y de formación continua que fomentan la empleabilidad de los trabajadores y les ayudan a gestionar el final de sus carreras profesionales.
 - Porcentaje de centros donde se han implantado programas de desarrollo, evaluaciones de impactos y participación de la comunidad local.
 - Resultados de las encuestas para medir la satisfacción de los clientes.

El resultado de la aplicación de la metodología *Fuzzy-Delphi* permite obtener un sistema de indicadores que integra las tres dimensiones de la sustentabilidad dentro de las operaciones portuarias; de los 12 criterios obtenidos el 25% representa la dimensión económica, el 41.7% la dimensión ambiental y la dimensión social representa el 33.3%, estos resultados son consecuencia de un entendimiento más profundo de la sustentabilidad, del mismo modo, cumple con los principios propuestos por Wang Y Zhao (2016) relacionados con la científicidad, por la complejidad de factores que intervienen; la factibilidad, al ser cuantificables y comparables, la independencia, por no afectarse entre ellos; su complementariedad, al reflejar las condiciones portuarias; su simplicidad, al ser únicamente 12 indicadores; la jerarquía, pues se construye en capas o dimensiones; y su dinamismo, pues son reflejo del entorno en el que se desarrollan las actividades de los puertos, aunque éstos deberán de ajustarse atendiendo a las necesidades del puerto y a la evaluación que se realicen según lo consideren las autoridades portuarias.

Conclusion

El estudio de la sustentabilidad portuaria se caracteriza por sesgos hacia la dimensión ambiental, la dimensión económica de una u otra manera se encuentra implícita en el grueso de las investigaciones, lo que deja de lado la dimensión social, en este sentido los esfuerzos por generar un enfoque sustentable no son integrales. El presente trabajo permitió reconocer, a través de la revisión de la literatura la presencia de dicho sesgo y falta de integración, por lo que se buscó comparar sistema de indicadores que incluyeran las dimensiones de la sustentabilidad, ello permitió comparar tres

sistemas para encontrar semejanzas y poder construir un sistema de indicadores sustentables portuarios.

Lo anterior se logró con la aplicación de la metodología *Fuzzy-Dlephi*, que permite obtener información de expertos, al mismo tiempo que reduce la incertidumbre y la subjetividad en la elección de los indicadores; el resultado fue un sistema de 12 indicadores seleccionados a través de un proceso riguroso y que plantea nuevas líneas de investigación, pues se encuentra en un nivel teórico que debe ser contrastado con la práctica y funcionalidad en la administración portuaria para que puedan ser incluidos en las estrategias, planes de acción y políticas que conviertan los puertos en recintos sustentables que generan beneficios sociales, un desarrollo y crecimiento económico con un respeto al medio ambiente, para poder perpetuarse en el largo plazo.

References:

1. Acciaro, M. (2015). Corporate responsibility and value creation in the port sector. *International Journal of Logistics: research and applications*, 18 (3), 291-311.
2. Acciaro, M., Vanellander, T., Sys, C., Ferrari, C., Rouboutsos, A., Giuliano, G., Lam, J., y Kapros, S. (2014). Environmental sustainability in seaports: a framework for successful innovation. *Maritime Policy & Management*. 41(5). 480-500.
3. Argyriou, I., Daras, T., Tsoutsos, T. (2022). Challenging a sustainable port. A case study of Souda port, Chania, Crete. *Case Studies on Transport Policy*, 10, 2125-2137.
4. Asgari, N., Hassani, A., Jones, D., y Nguye, H. (2015). Sustainability ranking of the UK major ports: methodology and case study. *Transportation Research part E.un* 78. 19-39.
5. Balbaa, A., y Liyanage, J. (2010). On the Development of an Integrated Framework Based on 'PERS' and 'EFQM' for Environmental Sustainability Management in Seaports: A Case from Egypt. En Amadi-Echendu, J., Brown, K., Willett, R., y Mathew, J. (Ed.). (297-310). *Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management*. Londres: Springer.
6. Bergqvist, R., Macharis, C., Meers, D., y Woxenius, J. (2015). Making hinterland transport more sustainable a multi actor multi criteria analysis. *Research in Transportation Business & Management*, 14, 80-89.
7. Bjerkan, K., Hansen, L., y Steen, M. (2021). Towards sustainability in the port sector: The role of intermediation in transition work. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 40, 296-314.

8. Bouzon, M., Govindan, K., Taboada, C., y Campos, L. (2016). Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 182-197.
9. Burškytė, V., y Belous, O. (2012). Klaipeda seaports key sustainability. *Baltic International Symposium*.
10. Denktas-Sakar, G., y Karatas-Cetin, C. (2012). Port Sustainability and stakeholder management in supply chains: a framework on resource dependence theory. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 28 (3), 301-320.
11. Dinwoodie, J., Tuck S., Knowles, H., Benhin, J., y Sansom, M. (2012). Sustainable development of maritime operations in ports. *Business Strategy and the environment*, 21, 111-126.
12. Dwarakish, G., y Salim, A. (2015). Review on the role of ports in the development of a nation. *Aquatic Procedia*. 4. 295-301.
13. Global Reporting Initiative [GRI] (2022). *Guía para la elaboración de memorias de sostenibilidad G4*. <http://www.mas-business.com/docs/Spanish-G4.pdf>
14. Hiranandani, V. (2014). Sustainable development in seaports: a multi-case study. *Marit Affairs*, 13, 127-172.
15. Ho, Y., y Wang, H. (2008). Applying Fuzzy Delphi Method to Select the Variables of a Sustainable Urban System Dynamics Model. Actas del 26o. Congreso Internacional de la Sociedad de la Dinámica de Sistemas (International Conference of the System Dynamics Society). Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/1806/6d728afe777dd35939367bcec3ef84e344e8.pdf>
16. Hossain, T., Adams, M, Y Walker, T. (2021). Role of sustainability in global seaports. *Ocean and Coastal Management*, 202, 1-10.
17. Hsu, Y., Lee, C., y Kreng, V. (2010). The application of fuzzy delphi method and fuzzy ahp in lubricant regenerative technology selection. *Experts Systems with Applications*, 37, 419-425.
18. Iannone, F. (2012). The private and social cost efficiency of port hinterland container distribution through a regional logistics system. *Transportation Research*, 46, 1424-1448.
19. Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tatsuta, R., y Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets and Systems*, 55, 241-253.
20. Kabir, G., y Sultana, R. (2013). Integrating fuzzy delphi with fuzzy analytic hierarchy process for multiple criteria inventory classification. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 3(1), 22-34.

21. Lavissière, A., Mandják, T., Hofmann, J., y Fedi, L. (2020). Port marketing as manifestation of sustainable marketing in a B2B context. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 35(3), 524-536.
22. Le, X., Vu, V., Hens, L., y Van Heur, B. (2014). Stakeholder perceptions and involvement in the implementation of EMS in ports in Vietnam and Cambodia. *Journal of Cleaner Production*. 64. 173-193.
23. Le, X., Vu, V., Hens, L., y Van Heur, B. (2014). Stakeholder perceptions and involvement in the implementation of EMS in ports in Vietnam and Cambodia. *Journal of Cleaner Production*. 64. 173-193.
24. Lee, J., y Notteboom, T. (2014). The greening of ports: a comparison of port management tools used by leading ports in Asia and Europe. *Transport Reviews*. 34 (2). 169-189.
25. Parola, F., y Maugeri, S. (2013). Origin and taxonomy of conflicts in seaports: towards a research agenda. *Research in Transportation Business & Management*, 8, 114-122.
26. Pavlic, B., Cepak, F., Sucic, B., Peckej, M, y Kandus, B. (2014). Sustainable port infraestructura, practical implementation of the Green port concept. *Thermal Science*. 18(3). 938-948.
27. Puig, M., Wooldridge, C., Casal, J., y Darbra, R. (2015). Tool for the identification and assessment of Environmental Aspects in Ports (TEAP). *Marine Pollution Bulletin*, 113, 8-17.
28. Puig, M., Wooldridge, C., y Darbra, R. (2014). Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development. *Marine Pollution Bulletin*. 81. 124-130.
29. Reguant-Álvarez, M., y Torrado-Fonseca, M. (2016). El método Delphi. *REIRE: Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9(1), 87-102.
30. Roh, S., Thai, V., y Wong, Y. (2016). Towards Sustainable ASEAN Port Development: Challenges and Opportunities for Vietnamese Ports. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. 32(2). 107-118.
31. Saengsupavanich, C., Coowanitwong, N., Gallardo, W., y Lertsuchatavanich, C. (2009). Environmental performance evaluation of an industrial port and estate: ISO14001, port state control-derived indicators. *Journal of Cleaner Production*. 17. 154-161.
32. Sislian, L., Jaegler, P., y Cariou, P. (2016). A literatura review on port sustainability and ocean's carrier network problema. *Research in Transportation Business & Management*. 19. 19-26.
33. Starik, M., y Kanashiro, P. (2013). Toward a theory of sustainability management: uncovering and integrating the nearly obvious. *Organization & Environment*. 26(1). 7-30.

34. United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD] (2009). Review of Maritime Transport 2009. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Organización de Naciones Unidas. Ginebra. Disponible en http://unctad.org/es/Docs/rmt2009_sp.pdf
35. United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD] (2015). Review of Maritime Transport 2015. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Organización de Naciones Unidas. Ginebra. Disponible en http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2015_en.pdf
36. Wang, D., y Zhao, Y. (2016). Research on quantitative evaluation indicator system of seaport sustainable development. *OCEANS*. 1-8.
37. Wang, S., Lee, M., Château, P., y Chang, Y. (2016). Performance indicator framework for evaluation of sustainable tourism in the Taiwan coastal zone. *Sustainability*, 8(652), 1-13.
38. Wang, Y., Yeo, G., y Ng, A. (2018). The use of the hybrid fuzzy-delphi-topsis approach in identifying optimal bunkering ports for shipping lines. En P., Lee y Z., Yang, (eds.). *Multi-Criteria Decision Making in Maritime Studies and Logistics*. International Series in Operations Research & Management Science. (249-270). Cham, Suiza: Springer International Publishing.
39. Yap, W., y Lam, J. (2013). 80 million-twenty-foot-equivalent-unit container port? Sustainability issues in port and coastal development. *Ocean & Coastal Management*, 71, 13-25.