

ARTÍCULO ORIGINAL  
ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO Y LA PRODUCCIÓN

## **Indicadores de costos logísticos y ambientales en las Fuerzas Armadas de Angola**

*Logistics and environmental cost indicators in the Angolan Armed Forces*

Lino Ferreira Sardinha da Costa Neto <sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7462-652X>

Yosvani Orlando Lao León <sup>2, \*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7491-3548>

<sup>1</sup> Fuerzas Armadas Angolanas (FAA)

<sup>2</sup> Universidad de Holguín, Holguín, Cuba

\*Autor para la correspondencia: [ylaol1986@gmail.com](mailto:ylaol1986@gmail.com)

### **RESUMEN**

Este estudio analizó el comportamiento de seis indicadores de costos logísticos y ambientales durante seis años en la División de Combustibles y Lubricantes en la Dirección de Logística del Ejército Angolano. Se realizó un estudio observacional longitudinal con un enfoque cuantitativo, descriptivo-correlacional, entre 2019 y 2024. Se aplicaron gráficos de control, análisis de regresión lineal simple y análisis de correlación de *Pearson*. Los resultados indicaron estabilidad en los indicadores, aunque se presentaron variaciones debido a los efectos de la *COVID-19*. Se identificaron correlaciones significativas entre los indicadores, lo que sugiere una estrecha relación entre la eficiencia logística y la huella ambiental en la cadena de suministro de combustibles y lubricantes de las Fuerzas Armadas Angolanas, destacando oportunidades para mejorar su gestión ambiental. Se propusieron cuatro estrategias

para optimizar la eficiencia logística y reducir la huella ambiental en la cadena de suministro de combustibles y lubricantes de la Fuerzas Armadas Angolanas.

**Palabras claves:** indicadores de costos logístico ambientales; gráficos de control; regresión lineal simple; correlación de Pearson; sostenibilidad.

## ABSTRACT

This study analyzed the behavior of six logistics and environmental cost indicators over six years in the Fuels and Lubricants Division of the Logistics Directorate of the Angolan Army. A longitudinal observational study was conducted using a quantitative, descriptive-correlational approach, between 2019 and 2024. Control charts, simple linear regression analysis, and Pearson correlation analysis were applied. The results indicated stability in the indicators, although variations occurred due to the effects of COVID-19. Significant correlations were identified between the indicators, suggesting a close relationship between logistics efficiency and the environmental footprint in the fuel and lubricant supply chain of the Angolan Armed Forces, highlighting opportunities to improve its environmental management. Four strategies were proposed to optimize logistics efficiency and reduce the environmental footprint in the fuel and lubricant supply chain of the Angolan Armed Forces.

**Keywords:** environmental logistics cost indicators; control charts; simple linear regression; Pearson correlation; sustainability.

Recibido: 04/10/25

Aprobado: 08/10/25

## Introducción

Angola es uno de los países africanos cuya economía sigue siendo altamente dependiente de los hidrocarburos, lo que convierte a los combustibles y lubricantes en recursos estratégicos para el desarrollo nacional y la seguridad energética [1]. Sin embargo, esta dependencia genera desafíos asociados a la sostenibilidad ambiental y

la necesidad de diversificar la economía, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por el país.

En este sentido, la ciencia y la investigación aplicada desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de políticas públicas que combinan seguridad, desarrollo económico y sostenibilidad ambiental. En este contexto, la logística militar, responsable de garantizar el suministro de combustibles y lubricantes para las operaciones del ejército, representa un área donde las necesidades estratégicas de defensa se entrelazan con los compromisos ambientales internacionales de Angola.

El desarrollo sostenible no se limita a la reducción de emisiones, sino que también implica aumentar la eficiencia de los procesos logísticos, reducir los costos asociados a los impactos ambientales y mejorar la resiliencia de la infraestructura energética. Las investigaciones de da Costa Neto (2018 y 2019) proporcionan un marco de indicadores que permiten la medición y gestión de los costos logísticos ambientales en los procesos logísticos de combustibles y lubricantes en las Fuerzas Armadas Angolanas (FAA) [2; 3; 4].

La evaluación de estos indicadores durante seis años en el suministro, almacenamiento y distribución de combustibles y lubricantes en el ejército angoleño representa no solo un ejercicio académico, sino también una contribución científica al proyecto nacional de desarrollo sostenible. Mediante este tipo de estudio, Angola puede impulsar la consolidación de la ciencia aplicada orientada a la solución de problemas estratégicos, integrando la dimensión ambiental en los procesos militares y energéticos, con efectos multiplicadores en la economía y la sociedad.

En consecuencia, el objetivo de este artículo radica en analizar el comportamiento de seis indicadores de costos logísticos y ambientales en el período del 2019 al 2024 en la División de Combustibles y Lubricantes en la Dirección de Logística del Ejército Angolano.

La propuesta de indicadores es clave en la gestión de la cadena de suministros, desde el mismo momento en que se desea evaluar la evolución en su gestión. Son varias las investigaciones antecedentes que establecen indicadores para evaluar el impacto

ambiental en las cadenas de suministros de diversas naturalezas [5; 6; 7]. En todos los casos, se coincide en que el seguimiento periódico de estos indicadores, constituye una tarea de obligatorio cumplimiento para identificar tendencias, variaciones o desviaciones en estos indicadores y tomar medidas correctivas o preventivas, según sea el caso.

Específicamente la literatura reciente sobre logística y gestión de costos ambientales enfatiza la necesidad de integrar la sostenibilidad como un componente central de la gestión de la cadena de suministro [8].

Varios estudios internacionales aportan referencias adicionales, que complementan la naturaleza de este estudio. Lu y colectivo demostraron que la eficiencia logística se correlaciona positivamente con la reducción de los costos ambientales, lo que refuerza la hipótesis de que la gestión sostenible no solo protege el medio ambiente, sino que también mejora la eficiencia económica [9]. En el caso angoleño, este argumento cobra mayor relevancia, dado que la reducción de los costos logísticos contribuye a un uso más racional de los recursos públicos.

Bengue (2024), en su análisis de la creación de un corredor marítimo verde entre Portugal y Angola, destacan cómo las decisiones sobre infraestructura logística deben estar alineadas con criterios de viabilidad ambiental y económica, lo cual está directamente vinculado con los objetivos de sostenibilidad del país [1]. Por otro lado, Zalluhoğlu (2025) argumenta que las tendencias actuales en logística sostenible requieren un enfoque interdisciplinario, donde la ciencia sirva de puente entre la teoría y la práctica, facilitando la implementación de soluciones contextualizadas [10].

De esta forma, la literatura disponible no solo respalda el uso de indicadores de costos ambientales en las cadenas de suministro de combustible, sino que también refuerza la idea de que la ciencia aplicada es una herramienta fundamental para el desarrollo sostenible de Angola.

## **Métodos**

Se realizó un estudio observacional longitudinal con un enfoque cuantitativo, descriptivo-correlacional. Se analizaron datos mensuales de los seis indicadores de costos logísticos ambientales propuestos por da Costa Neto (2018) [2] durante seis años (2019-2024) en la División de Distribución de Combustible del Ejército de Angola. Cada indicador se registró en sus unidades de medida correspondientes.

Se crearon gráficos de control tipo Shewhart (X y LC) para cada indicador. Se calcularon la media y los límites de control ( $\pm 3\sigma$ ). Como complemento, para analizar la tendencia temporal de cada indicador, se determinó su estabilidad y se ajustaron modelos de regresión lineal simple, considerando el año como variable independiente. Se calculó el coeficiente de correlación de *Pearson* entre cada par de indicadores, evaluando la significación estadística ( $p < 0,05$ ). Esto permitió identificar relaciones positivas o negativas significativas que demostraron posibles interdependencias o conflictos entre los indicadores. Todo el procesamiento se realizó con un software estadístico especializado.

## **Resultados**

El primer indicador evaluado fue la Tasa de Pérdidas por Derrames (TPD), que mostró un comportamiento estable como se muestra en la figura 1. Todos los puntos se mantuvieron dentro de los límites de control, sin patrones sospechosos, aunque se observó una tendencia decreciente, lo cual fue favorable atendiendo al nivel de referencia del indicador.

En otras palabras, la relación entre el costo de los combustibles y/o lubricantes derramados y el costo de los combustibles y/o lubricantes suministrados disminuyó, considerándose la tasa de derrame estándar ya que su referencia es el valor cero [2]. No se observó ninguna variación significativa, por lo que se concluyó que por su estabilidad de 8,25 tuvo un comportamiento aceptable. El análisis de regresión lineal confirmó una pendiente negativa leve pero no significativa ( $\beta = -0.04$ ,  $p > 0.05$ ).

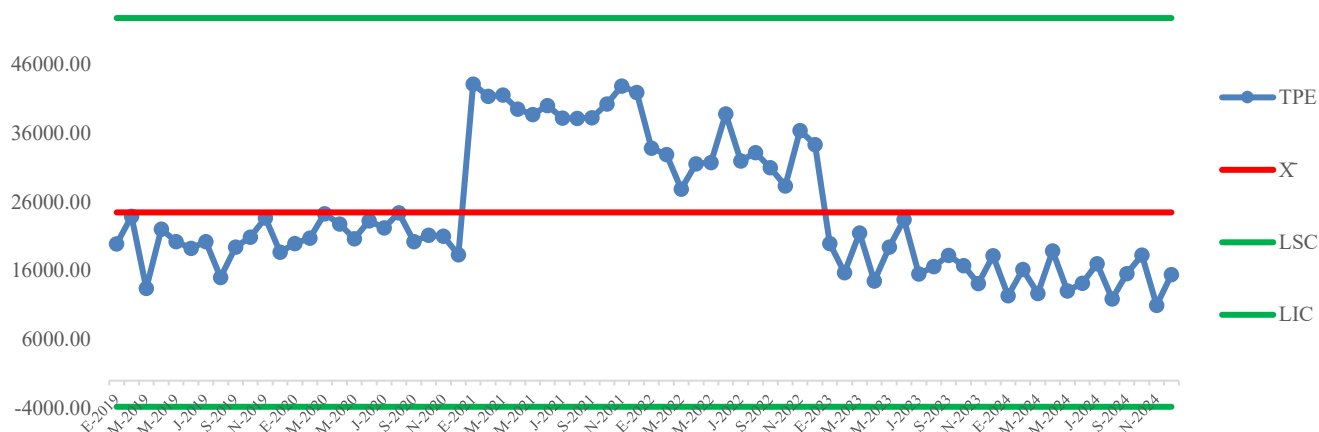


**Fig. 1** - Gráfico de control del indicador TPD (2019-2024).

El segundo indicador evaluado fue la Tasa de Pérdida por Evaporación (TPE), que mostró un comportamiento estable como se muestra en la figura 2. Todos los puntos se mantuvieron dentro de los límites de control, sin patrones sospechosos, aunque se observó una tendencia al alza entre 2021 y 2022, presumiblemente como consecuencia de los efectos pos-*COVID*, ya que disminuyó gradualmente a partir de entonces.

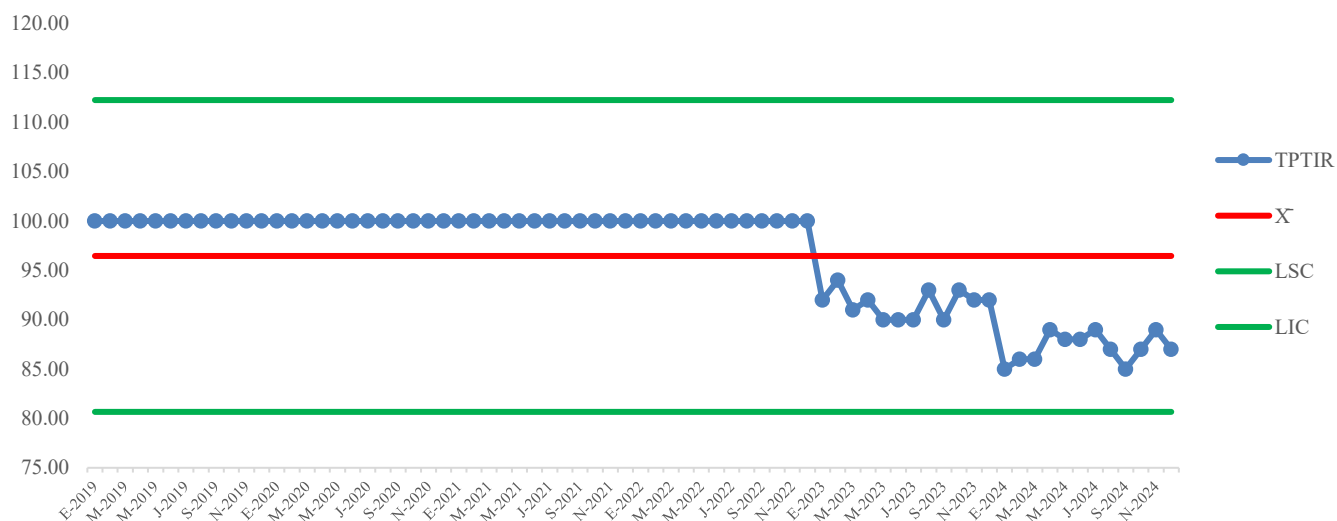
Por lo tanto, la relación entre el costo de los combustibles y/o lubricantes evaporados y el costo del volumen total de combustibles y/o lubricantes almacenados en un contenedor se estabilizó y disminuyó, ya que su referencia es mantenerse estable [2]. No se observó ninguna variación significativa, por lo que se concluyó que por su estabilidad de 2,6 tuvo un comportamiento aceptable. El análisis de regresión lineal confirmó una pendiente negativa pero no significativa ( $\beta = -103.16$ ,  $p > 0.05$ ).

## EVALUACIÓN DE INDICADORES DE COSTOS LOGÍSTICOS Y AMBIENTALES EN LAS FUERZAS ARMADAS DE ANGOLA



El tercer indicador evaluado fue la Tasa de Pérdida de Residuos por Tratamiento Inadecuado (TPTIR), que mostró un comportamiento estable como se muestra en la figura 3. Todos los puntos se mantuvieron dentro de los límites de control, sin patrones sospechosos, aunque se observó que se mantuvo constante en el 100 % hasta 2022 y comenzó una tendencia descendente a partir de 2023, asumida como consecuencia de los efectos pos-COVID, y que posteriormente disminuyó gradualmente.

Esto significa que la relación entre el costo de los combustibles y/o lubricantes utilizados, pero no reutilizados en el proceso, y el costo de los combustibles y/o lubricantes utilizados comenzó a disminuir, acercándose a su ideal ya que su referencia es el valor cero [2]. No se observó ninguna variación significativa, por lo que se concluyó que por su estabilidad de 18,32 tuvo un comportamiento aceptable. El análisis de regresión lineal confirmó una pendiente negativa leve pero no significativa ( $\beta = -0.21$ ,  $p > 0.05$ ).



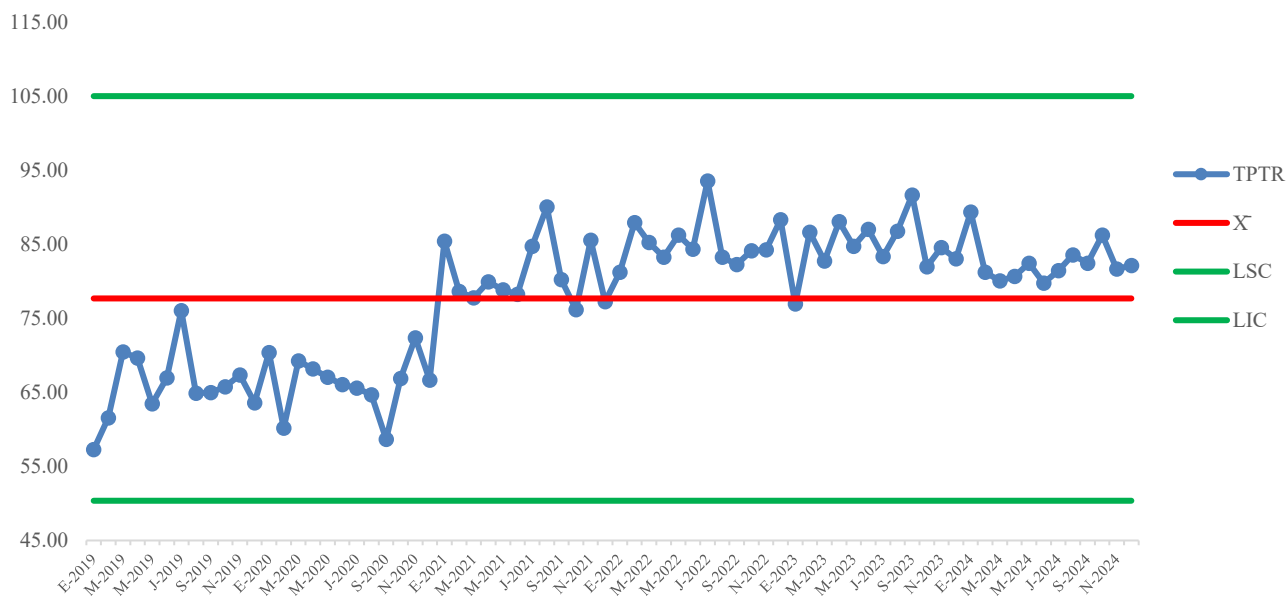
**Fig. 3** - Gráfico de control del indicador TPTIR (2019-2024).

El cuarto indicador evaluado fue la Tasa de Pérdidas en el Tratamiento de Residuos (TPTR), que mostró un comportamiento estable como se muestra en la figura 4. Todos los puntos se encontraron dentro de los límites de control, sin patrones sospechosos, aunque se observó una tendencia ascendente, acercándose al equilibrio ideal del indicador (100,00 %).

Esto significa que la relación entre el costo del servicio de tratamiento de residuos y los combustibles y/o lubricantes utilizados, pero no reutilizados en el proceso, y el costo de los combustibles y/o lubricantes reutilizados, es igual a una unidad proporcional y se comenzó a acercarse a su nivel de referencia que es el valor cero [2]. No se observó ninguna variación significativa, por lo que se concluyó que por su estabilidad de 8,52 tuvo un comportamiento aceptable. El análisis de regresión lineal confirmó una pendiente positiva leve significativa ( $\beta = 0.33$ ,  $p < 0.05$ ), lo que confirmó la interpretación realizada.



## EVALUACIÓN DE INDICADORES DE COSTOS LOGÍSTICOS Y AMBIENTALES EN LAS FUERZAS ARMADAS DE ANGOLA



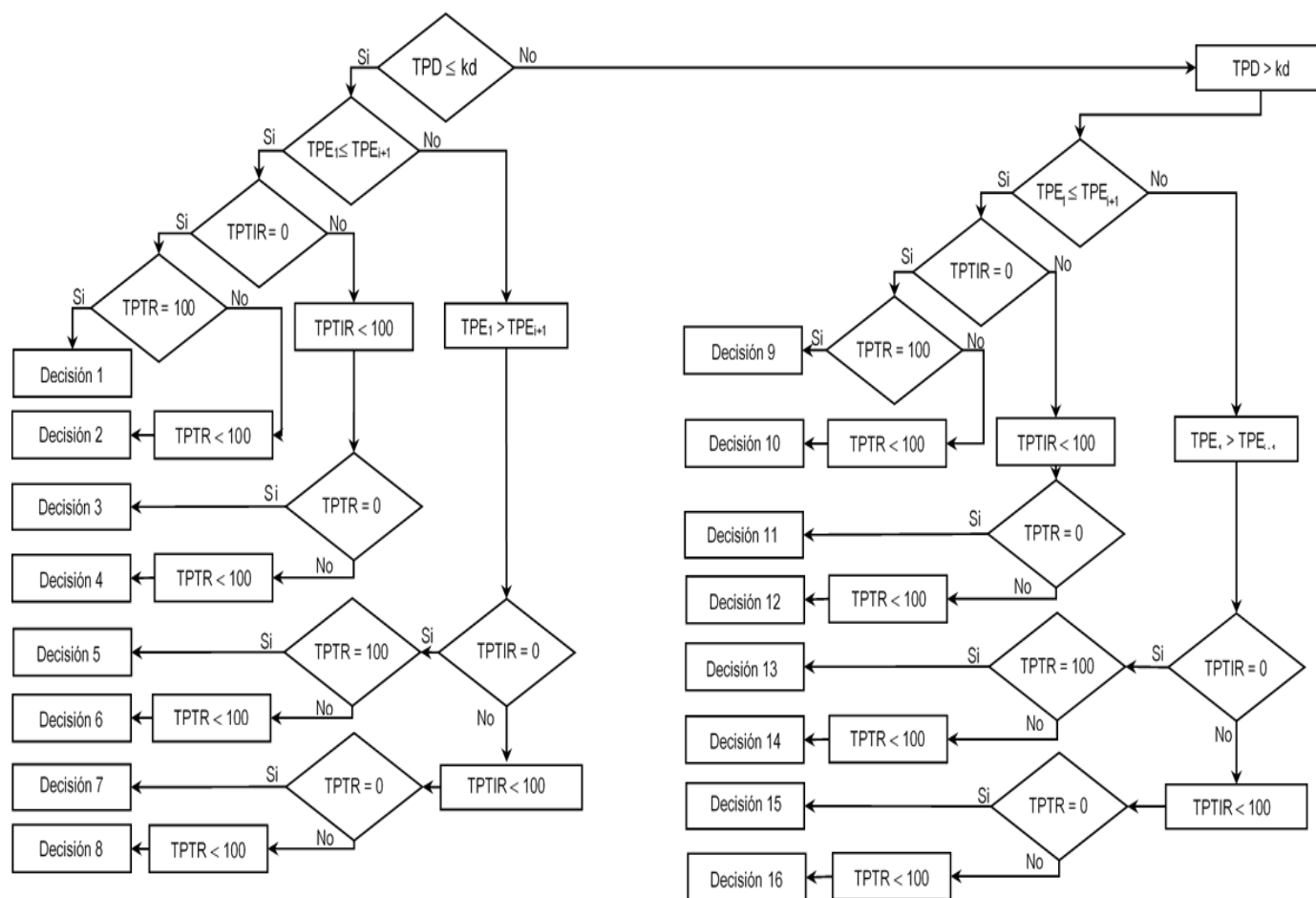
**Fig. 4** - Gráfico de control del indicador TPTR (2019-2024).

Para evaluar el comportamiento de los cuatro primeros indicadores medidos y tomar decisiones, se utilizó el algoritmo que se muestra en la figura 5 propuesto por da Costa Neto (2019), que utiliza los resultados de los cuatro indicadores [4]. Considerando que se realizaron 72 mediciones (una por mes), los resultados se evaluaron de forma acumulada, verificando las decisiones más frecuentes.

Con base en los resultados de los indicadores, las decisiones más frecuentes fueron las siguientes:

- Decisión 4: No se produjeron pérdidas por derrames ni evaporación de combustible, pero no todos los residuos se incorporaron a la cadena de suministro. Fue necesario implementar medidas técnicas y organizativas intensivas e integrales. En todos los casos, se evaluó la viabilidad de invertir para mitigar la obsolescencia tecnológica (sugiero utilizar un término más ajustado a la tecnología) (Esta decisión se tomó en el 68,05 % de las evaluaciones realizadas).
- Decisión 8: Se produjeron pérdidas físicas y económicas de combustible debido a la evaporación y a la insuficiente capacidad instalada para garantizar la reutilización de los combustibles y/o lubricantes almacenados y quemados. Estas pérdidas se

debieron a la falta de tratamiento de residuos y a la insuficiente capacidad de terceros para tratar el 100 % de los residuos contratados. Se requirió la implementación de medidas intensivas para promover una reducción progresiva (Esta decisión se tomó en el 20,83 % de las evaluaciones realizadas).



**Fig. 5** - Algoritmo para alternativas de decisión.

Fuente: da Costa Neto (2019) [4].

Este resultado demuestra un estado favorable en la medición integral de estos cuatro indicadores. Sin embargo, se detectaron irregularidades que se mitigaron con base en el desempeño de los indicadores durante el último año de evaluación. Ya con carácter más integrador, se procedió a la evaluación de los últimos dos indicadores.

El quinto indicador evaluado fue el Índice de Integración Económica de Costos Ambientales (IIECA), que mostró un desempeño estable como se muestra en la figura 6. Todos los puntos se ubicaron dentro de los límites de control, sin patrones sospechosos, aunque se observó una tendencia al alza, acercándose al equilibrio ideal del indicador (100,00 %).

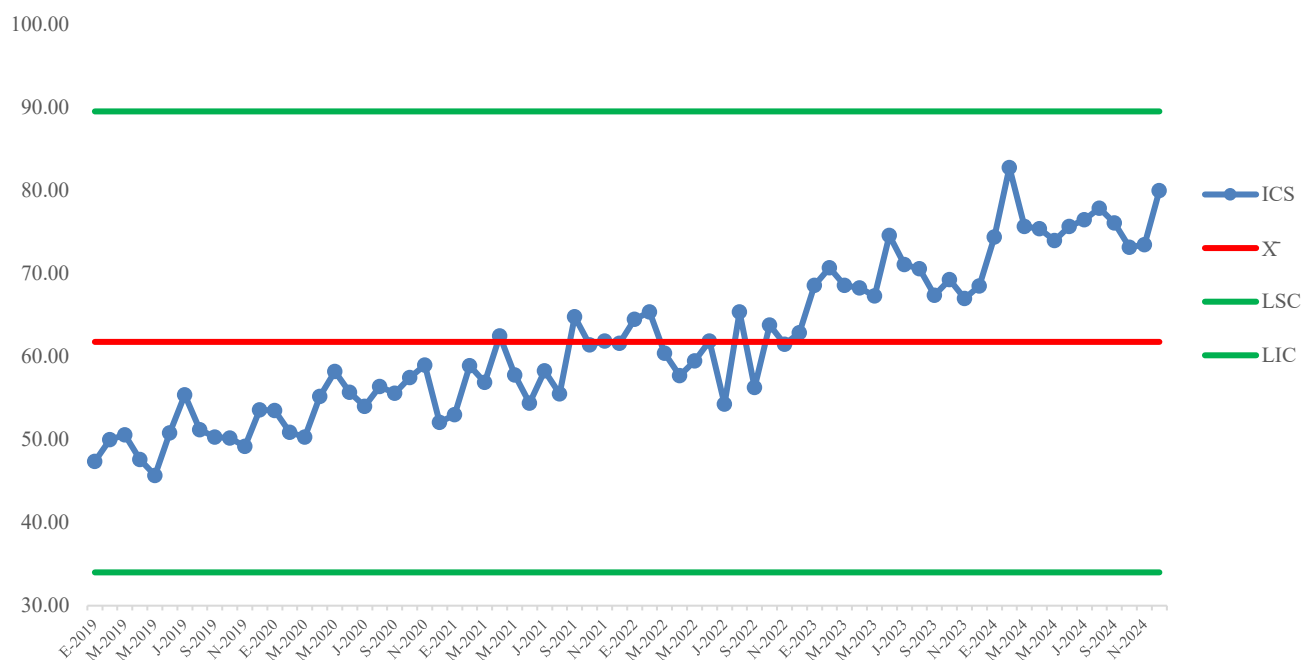
Esto significa que la relación entre los costos logísticos ambientales y el valor total de los costos logísticos relacionados con la cadena de suministro de combustibles y lubricantes se integraron cada vez más, acercándose a su nivel de referencia que es el 100,00 % [2]. No se observó ninguna variación significativa, lo que permitió concluir que su estabilidad ( $> 100$ ) fue positiva, dado que, según la escala establecida para evaluar el indicador, sus resultados se clasificaron como Excelentes durante todo el período de evaluación. El análisis de regresión lineal confirmó una tendencia positiva leve significativa en el indicador ( $\beta = 0.02$ ,  $p < 0.05$ ), lo que sugiere una mejora sostenida durante el periodo de estudio.



**Fig. 6 - Gráfico de control del indicador IIECA (2019-2024).**

El sexto y último indicador evaluado fue el Índice de Costo Sostenible (ICS), cuyo desempeño se mantuvo estable como se muestra en la figura 7. Todos los puntos se

mantuvieron dentro de los límites de control, sin patrones sospechosos, aunque se observó una tendencia de crecimiento sostenido, que se aceleró a partir de 2021.



**Fig. 7** - Gráfico de control del indicador ICS (2019-2024).

Esto significa que la relación entre los costos sostenibles (costos de los procesos/productos reincorporados a la cadena de suministro) y los costos totales de adquisición y suministro de combustibles y lubricantes fue positiva y creciente, acercándose a su nivel de referencia que es mantenerse estable con valores inferiores al 100,00 % [2]. No se observó variación significativa, por lo que se concluyó que su estabilidad (6,67) fue positiva, dado que, según la escala establecida para evaluar el indicador, sus resultados se clasificaron entre Regulares a Buenos durante el período evaluado. El análisis de regresión lineal confirmó una pendiente positiva significativa ( $\beta = 0.41$ ,  $p < 0.01$ ), lo que sugirió una mejora sostenida durante el periodo de estudio.

Estos resultados demuestran la gestión eficiente de los costos ambientales de los procesos logísticos en la cadena de suministro. Si bien se registraron pérdidas durante

el período y la incorporación de los costos ambientales de los procesos logísticos a la cadena de suministro fue gradual, aún existen reservas para su mejora. Se deben evaluar otras alternativas para optimizar los costos ambientales de los procesos logísticos en la cadena de suministro de combustibles y lubricantes, asociados con los costos de materiales no recuperables, a fin de minimizar el impacto ambiental de los procesos logísticos en la cadena de suministro.

Para identificar posibles relaciones entre los resultados de los indicadores, se aplicó un análisis de correlación de *Pearson* como se muestra en la tabla 1, basado en la naturaleza cuantitativa de los datos. Cabe destacar la significativa y fuerte correlación negativa identificada entre el TPD y el TPTR ( $r = -0,803$ ,  $p < 0,01$ ), así como la negativa entre el TPD y los índices ambientales IIECA ( $r = -0,754$ ,  $p < 0,01$ ) e ICS ( $r = -0,708$ ,  $p < 0,01$ ). Esto indica que, a medida que disminuyen las pérdidas por derrames, la integración económica de los costos ambientales y de sostenibilidad tiende a aumentar.

**Tabla 1 - Coeficientes de correlación de Pearson**

		<b>TPD</b>	<b>TPE</b>	<b>TPTIR</b>	<b>TPTR</b>	<b>IIECA</b>	<b>ICS</b>
<b>TPD</b>	Correlación de Pearson	1	,105	,000	-,803**	-,754**	-,708**
	Sig. (bilateral)		,421	1.000	,000	,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72
<b>TPE</b>	Correlación de Pearson	,105	1	-,100	,853**	-,409**	-,357**
	Sig. (bilateral)	,421		,423	,000	,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72
<b>TPTIR</b>	Correlación de Pearson	,000	-,100	1	-,152	,057	,027
	Sig. (bilateral)	1.000	,423		,125	,704	,903
	N	72	72	72	72	72	72
<b>TPTR</b>	Correlación de Pearson	-,803**	,853**	-,152	1	,508**	,451**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,125		,000	,000
	N	72	72	72	72	72	72
<b>IIECA</b>	Correlación de Pearson	-,754**	-,409**	,057	,508**	1	,908**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,704	,000		,000
	N	72	72	72	72	72	72

<b>ICS</b>	Correlación de Pearson	-,708**	-,357**	,027	,451**	,908**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,903	,000	,000	
	N	72	72	72	72	72	72

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Por otro lado, las pérdidas por evaporación (TPE) están asociadas positivamente con la TPTR ( $r = 0,853$ ,  $p < 0,01$ ) y, en menor medida y de forma negativa, con el IIECA ( $r = -0,409$ ,  $p < 0,01$ ) e ICS ( $r = -0,357$ ,  $p < 0,01$ ), lo que sugiere que una mayor pérdida por evaporación acompaña a la pérdida del tratamiento de residuos y afecta la sostenibilidad. En contraste, el TPTIR, que mantuvo muy poca variabilidad, presentó coeficientes bajos y no significativos con casi todos los indicadores, lo que proporcionó poca información en este contexto. Finalmente, la estrecha asociación significativa entre el IIECA y el ICS ( $r = 0,908$ ,  $p < 0,01$ ) reveló que las métricas de integración económica de los costos ambientales y los costos sostenibles evolucionan prácticamente en paralelo, lo que refuerza la idea de que las políticas de sostenibilidad de la FAA han logrado simultáneamente mejoras en la gestión de los costos logísticos ambientales.

## Discusión

Los resultados confirmaron la relevancia de los indicadores propuestos por da Costa Neto como alertas económicas y ambientales tempranas para la toma de decisiones [2; 11]. La estabilidad observada en los resultados, refuerza la consistencia del sistema logístico de combustibles y lubricantes militar, mientras que las pequeñas variaciones indicaron vulnerabilidades que requirieron atención operativa o estratégica, según su frecuencia a partir de las decisiones 4 y 8, que fueron las que con mayor frecuencia se adoptaron.

La existencia de correlaciones significativas corroboró la interdependencia entre la eficiencia logística y el impacto ambiental, como sugieren Lu (2019) y Condori (2023), quienes concluyen que un máximo rendimiento logístico se asocia con un mejor

desempeño ambiental [9; 12]. Además, estudios sobre logística verde entre Angola y Portugal robustecen la importancia de incorporar criterios de sostenibilidad en las infraestructuras estratégicas [1].

Zalluhoğlu (2025) enfatizan en la integración interdisciplinaria en la logística sostenible, lo que proporciona fundamento teórico para este estudio, un criterio alineado con los resultados [10]. En conclusión, en el contexto militar angoleño, adoptar este enfoque es imperativo, ya que puede aumentar la resiliencia operativa y el cumplimiento ambiental.

En consecuencia, se proponen cuatro posibles estrategias para optimizar la eficiencia logística y reducir la huella ambiental en la cadena de suministro de combustible y lubricantes de las FAA, basadas en las propuestas de investigaciones precedentes [13; 14; 15]:

- 1) Implementar flotas de vehículos eléctricos, híbridos y de combustibles alternativos (biocombustibles, gas natural licuado o hidrógeno verde) para las operaciones de transporte, reduciendo significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub> y la dependencia de combustibles fósiles.
- 2) Optimizar las rutas de distribución mediante sistemas de Inteligencia Artificial y análisis de *Big Data*, asegurando rutas más cortas y rápidas que minimicen el consumo de combustible y el desgaste de la flota.
- 3) Adoptar materiales de embalaje reciclables y establecer programas de logística inversa para recuperar y reutilizar envases y embalajes de lubricantes, reduciendo los costos de residuos sólidos y disposición final.
- 4) Instalar paneles solares y sistemas de energía eólica en almacenes y centros de distribución, proporcionando energía limpia a las bombas de almacenamiento y reabastecimiento, reduciendo el consumo de la red convencional y las emisiones indirectas de carbono.

## **Conclusiones**

1. El análisis de los seis indicadores a lo largo de los seis años reveló que la Tasa de Pérdidas por Derrames disminuyó gradualmente, mientras que la Tasa de Pérdida de Residuos por Tratamiento Inadecuado y los índices de Integración Económica de Costos Ambientales y de Costo Sostenible aumentaron de forma constante. Esto sugiere que, al racionalizar el despacho de combustibles y lubricantes, se mejoró el rendimiento técnico sin sacrificar la calidad ambiental.
2. La fuerte correlación positiva entre la Tasa de Pérdida por Evaporación, la Tasa de Pérdidas en el Tratamiento de Residuos y los índices ambientales indica que optimizar la eficiencia logística se traduce directamente en mejoras ambientales. En particular, la correlación casi perfecta entre el Índice de Integración Económica de Costos Ambientales y el Índice de Costo Sostenible demuestra que las acciones orientadas a la integración económica fortalecen simultáneamente las emisiones sostenibles y reducen los costos de los residuos.
3. Es fundamental fortalecer el monitoreo estadístico continuo de la cadena de suministro mediante técnicas de control de procesos, incorporar tecnologías limpias a la flota de transporte y aplicar modelos predictivos de optimización de rutas. Esto permitirá a las Fuerzas Armadas de Angola reducir aún más su impacto ambiental, a la vez que aumenta su eficiencia logística y operativa.

## **Referencias**

1. Bengue, AA; Alavi-Borazjani, SA; Chkoniya, V; Cacho, JL; Fiore, M. Priorización de criterios para el establecimiento de un corredor marítimo ecológico entre los puertos de Sines y Luanda mediante AHP difuso. Sustainability [internet]. 2024 [consultado 7 de agosto de 2025]; 16(21): 9563, ISSN: 2071-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su16219563>
2. Da Costa Neto, LFS; Pérez Pravia, MC; Vilariño Corella, CM. Indicadores de costos logísticos ambientales en la cadena de suministro de combustibles y lubricantes. Ciencias Holguín [internet]. 2018 [consultado 10 de agosto de 2025]; 24(2), ISSN: 1027-2127, Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181555444007>



3.Da Costa Neto, LFS; Pérez Pravia, MC; Vilariño Corella, CM. Modelo conceptual para la gestión de costos logísticos ambientales en la cadena de suministro de combustibles y lubricantes. Retos de la Dirección [internet]. 2019 [consultado 10 de agosto de 2025]; 13(1): 188-207, ISSN: 2306-9155. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2306-91552019000100188&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552019000100188&lng=es&tlng=es)

4.Da Costa Neto, LFS. Contribución a la gestión de los costos ambientales de los procesos logísticos en la cadena de suministro de combustibles y lubricantes de las Fuerzas Armadas de Angola [Tesis presentada como opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas] Universidad de Holguín, Cuba. Departamento de Ingeniería Industrial, 2019. Disponible en: <http://catedragc.mes.edu.cu/repositorios/>

5.Rodríguez-Guevara, EG; García-Bonilla, DA; Pineda-Ospina, DL. Optimización de la sostenibilidad en la cadena de suministro de cafés especiales. Entramado [internet]. 2024 [consultado 15 de agosto de 2025]; 20(2): e10840, ISSN: 1900-3803. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.10840>

6.Gruetzmacher, SB; Vaz, CB; Ferreira, ÂP. Sustainability performance assessment of the transport sector in European countries. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia [internet]. 2023 [consultado 19 de agosto de 2025]; 104: 42-52, ISSN: 0120-6230. Disponible en: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210742>

7.Iraola Jerez, J; Dios Palomares, R; Barros Rodríguez, M. Propuesta metodológica para el cálculo de indicadores ambientales en el engorde de machos vacunos en pastoreo. Revista de Producción Animal [internet]. 2020 [consultado 27 de agosto de 2025]; 32(2): 1-13, ISSN: 2224-7920. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-79202020000200001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202020000200001&lng=es&tlng=es)

8.Uzcanga-Pérez, NG; Chantásig-Vaca, CI; Cano-González, A. Sustentabilidad socioeconómica y ambiental de los sistemas de producción de maíz de temporal. Revista mexicana de ciencias agrícolas [internet]. 2020 [consultado 17 de julio de

2025]; 11(5): 993-1004, ISSN: 2007-0934. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2117>

9.Lu, M; Xie, R; Chen, P; Zou, Y; Tang, J. Desempeño del transporte y la logística ecológicos: Un índice compuesto mejorado. Sustainability [internet]. 2019 [consultado 17 de julio de 2025]; 11(10): 2976, ISSN: 2071-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11102976>

10.Zalluhoğlu, AE; Günay, GN; Aracioğlu, B; Yalçın, H. Sustainable logistics: innovative orientations and global trends in scientific research. Foresight [internet]. 2025 [consultado 17 de julio de 2025]; 27(15): 1011-1027, ISSN: 1465-9832. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/FS-01-2025-0021>

11.Sánchez-Alcalde, LA; Zambrano Monserrate, MA; González Guzmán, AE. Medición de impactos socioeconómicos en estudios ambientales: Una aproximación metodológica. Nóesis. Revista de ciencias sociales [internet]. 2024 [consultado 12 de julio de 2025]; 33(65): 89-105, ISSN: 2395-8669. Disponible en: <https://doi.org/10.20983/noesis.2024.1.5>

12.Condori Cusi, R; Fuentes Navarro, E. Huella de carbono en la cadena de valor del queso tipo paria de la zona lago de la cuenca Titicaca. Rev. investig. Altoandin [internet]. 2023 [consultado 17 de julio de 2025]; 25(4): 213-223, ISSN: 2313-2957. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2023.565>

13.Arce-Bastias, F. Beneficios ambientales del reciclaje de residuos plásticos posconsumo para la producción de postes en Mendoza, Argentina. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica [internet]. 2022 [consultado 22 de julio de 2025]; 25(spe): e2145, ISSN: 0123-4226. Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v25.nsupl.1.2022.2145>

14.Sadeghi, RK; Hasan Abadi, MQ; Haapala, HR; Huscroft, JR. Una solución híbrida de aprendizaje automático para rediseñar cadenas de suministro de energía circular sostenible. Ingeniería informática e industrial [internet]. 2024 [consultado 25 de julio de 2025]; 197: 110541, ISSN: 1879-0550. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110541>

15. Shulga, Putilova, IV; Smirnova, TS; Ivanova, NS. Tecnologías seguras y sin residuos que utilizan generación de energía eléctrica con hidrógeno. Revista Internacional de Energía del Hidrógeno [internet]. 2020 [consultado 8 de julio de 2025]; 45(58): 34037-34047, ISSN: 1879-3487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.060>

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

### **Contribución de cada autor:**

Lino Ferreira Sardinha da Costa Neto: Conceptualización, Curación de datos, Metodología, Análisis formal, Investigación, Metodología, Redacción.

Yosvani Orlando Lao León: Metodología, Recursos, Software, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción – revisión y edición.