



## Criterios de criticidad y complejidad para la toma de decisiones de mantenimiento: una revisión de la literatura

### Criticality and complexity criteria for maintenance decision-making: a literature review

Raúl Torres-Sainz<sup>1,\*</sup>, Lidia María Pérez-Vallejo<sup>2</sup>, Carlos Alberto Trinchet-Varela<sup>1</sup>, Roberto Pérez-Rodríguez<sup>1</sup>, Julio E. de la Rosa<sup>3</sup>

I. Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Centro de estudios CAD/CAM. Holguín, Cuba.

II. Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería Industrial, Dpto. de Ingeniería Industrial. Holguín, Cuba.

III. Universidad de Sevilla, Dpto. de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Escuela Politécnica Superior de Sevilla. Sevilla, España.

\* Autor de correspondencia: [torresspro@gmail.com](mailto:torresspro@gmail.com)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 30 de mayo de 2024

Aceptado: 30 de junio de 2024

#### Resumen

La identificación de los activos críticos es esencial para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento. En la literatura científica, se encuentran diversos métodos, modelos y criterios para evaluar la criticidad e importancia de los activos. El objetivo de esta investigación fue realizar una revisión de la literatura científica existente sobre los modelos de criticidad y complejidad para identificar los criterios clave en la toma de decisiones de mantenimiento. La estructura de la investigación se orientó a responder diversas interrogantes, tales como: ¿cuáles son los modelos y métodos propuestos para evaluar la criticidad de activos? ¿qué criterios de criticidad han sido

abordados en la literatura científica? ¿qué criterios proporcionan la información más relevante para la evaluación de la criticidad de activos industriales? También se propuso una aproximación conceptual sobre el análisis de complejidad. Además, se elaboró una matriz de importancia contra factibilidad de los criterios abordados en la literatura. Esta matriz permitió identificar y destacar los criterios más relevantes para la evaluación de la criticidad de activos industriales.

**Palabras claves:** gestión del mantenimiento, análisis de criticidad, análisis de complejidad.

#### Abstract

Identifying critical assets is crucial for effective maintenance management. The scientific literature offers various methods, models, and criteria to evaluate asset criticality and importance. This research aims to systematically review the scientific literature on criticality analysis models and methods, providing an updated and reliable guide on relevant criteria to consider in such analyses. The study addresses key questions, including: What models and methods have been proposed for asset criticality evaluation? Which criteria are frequently discussed in the literature?

Which criteria offer the most significant insights for evaluating industrial assets? Additionally, the research introduces a conceptual approach to complexity analysis and develops a matrix that compares the importance and feasibility of the criteria found in the literature. This matrix highlights the most relevant criteria for assessing the criticality of industrial assets.

**Key words:** maintenance management, criticality analysis, complexity analysis.

#### Cómo citar este artículo, norma Vancouver:

Torres Sainz R, Pérez Vallejo LM, Trinchet Varela CA, Pérez Rodríguez R, de la Rosa JE. Criterios de criticidad y complejidad para la toma de decisiones de mantenimiento: una revisión de la literatura. Ingeniería Mecánica. 2024;27(2):e693.

## 1. Introducción

En el campo de la jerarquización de activos, un método popular es el análisis de criticidad (AC), que se determina evaluando la frecuencia y las consecuencias de los fallos [1, 2]. Esta es un área relativamente especializada dentro del campo más amplio de la ingeniería del mantenimiento. A pesar de su especificidad, diversos estudios han abordado este tema, evidenciando el creciente reconocimiento de la importancia de la toma de decisiones de mantenimiento eficaces en diversas industrias [3]. Sin embargo es necesario establecer criterios de criticidad amplia y generales que puedan captar la información más relevante para el análisis de la criticidad [4]. Estos criterios deben ser aplicables a una amplia gama de activos, teniendo en cuenta sus diversas funciones y contextos operativos. La identificación de estos criterios permitirá una evaluación más completa y precisa de la importancia relativa de los activos, facilitando así la toma de decisiones de mantenimiento [4, 5].

Como citan González Sosa y Ávila-Soler [6], en la investigación de Castillo-Serpa, et al., se propone una ecuación matemática para el AC en aeropuertos. El estudio examina varios modelos de criticidad, sus criterios y fórmulas. En esta investigación se utilizan varios criterios específicos para un aeropuerto. Por otro lado Díaz-Concepción, et al. [7] estudiaron varios modelos de criticidad para el desarrollo de un software para evaluar la criticidad de los activos. Su investigación incluye criterios de criticidad y complejidad de los modelos analizados. Spreafico C, et al [8] hacen una revisión de los métodos y herramientas utilizados por el Análisis Modal de Fallos, Efectos y Criticidad, FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*), clasificando los documentos en cuatro clases: técnicas relacionadas con la aplicabilidad del método, la representación de la cadena de causas y efectos, el análisis de riesgos y la integración con la fase de resolución de problemas. Un análisis detallado de los estudios identificó los problemas más comunes, las formas de mejorar y qué otros métodos y herramientas se sugieren integrar con el FMECA.

Los estudios de Geo et al. [9] tienen el objetivo común de realizar revisiones sistemáticas y análisis bibliométricos de artículos de revistas sobre FMECA durante los periodos 1992-2012 y 1998-2018, respectivamente, para identificar diferencias, brechas y tendencias con respecto al FMECA tradicional. En su investigación, Dabous, et al. [10], tienen como objetivo proporcionar una revisión exhaustiva de la literatura sobre la integración entre la toma de decisiones multicriterio y FMECA, específicamente en la industria manufacturera, con el fin de analizar las tendencias, limitaciones y oportunidades de investigación en esta área. A pesar de la limitada cantidad de investigación sobre el tema, autores como Hourné-Calzada, et al. y Alfonso-Padura, et al. [11,12], sostienen que las investigaciones sobre AC siguen siendo relevantes para la gestión de activos. Por lo tanto, es necesario continuar la investigación en esta área con el fin de identificar posibles brechas y contribuir al desarrollo de soluciones más eficaces en el campo del mantenimiento.

Los autores de este estudio consideran que el análisis de criticidad es una metodología para evaluar la importancia de los activos de un sistema en términos de su impacto en los procesos operativos de una organización. El objetivo del análisis de criticidad es identificar y priorizar los activos que, en caso de fallo, tendrían un impacto significativo en la seguridad, la producción, la calidad, el medio ambiente o los costos operativos.

Aunque estas investigaciones han abordado diversos aspectos del AC y el uso de métodos como el FMECA, ninguna de ellas ha tratado la identificación de criterios de criticidad aplicables a una amplia variedad de situaciones. Son necesarias nuevas investigaciones que aborden este aspecto y contribuyan a la identificación de criterios de criticidad más generales y adaptables. En consecuencia, el objetivo de esta investigación es llevar a cabo una revisión de la literatura científica sobre los modelos y métodos de AC con el fin de proporcionar una orientación fiable y actualizada sobre los criterios que deben tenerse en cuenta en un AC. La investigación aborda un enfoque exhaustivo para los diferentes criterios de criticidad utilizados en la literatura científica. Mediante un análisis detallado de la misma, se identificaron los criterios de criticidad más frecuentemente tratados y discutidos por los autores. Se llevó a cabo una revisión detallada de los estudios pertinentes para comprender cómo se han aplicado estos criterios en diferentes contextos industriales.

Para la elaboración de esta investigación, se revisaron los últimos 24 años de productividad científica de artículos en idioma Español e Inglés que abordan la jerarquización de activos utilizando modelos de criticidad, para comprender cómo se han aplicado estos modelos y criterios en diferentes contextos industriales. El objetivo de esta investigación fue realizar una revisión de la literatura científica existente sobre los modelos de criticidad y complejidad para identificar los criterios clave en la toma de decisiones de mantenimiento. La revisión incluyó bases de datos reconocidas: SCOPUS, IEEEXplorer, SpringerLink, Lens.org y SciELO. Se adoptó un enfoque de revisión basado en el método PRISMA. Fue posible identificar los métodos y criterios más utilizados y los que proporcionan la información más relevante. La investigación proporcionó información de interés tanto para la teoría, al poner de relieve las limitaciones y la necesidad de explorar enfoques, como para la práctica, al destacar criterios relevantes y la importancia de la formación del personal.

## 2. Declaración PRISMA

La declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) [13], es una herramienta utilizada en revisiones sistemáticas para guiar el proceso de selección de estudios relevantes para su inclusión en el análisis. La metodología PRISMA se utiliza parcialmente en esta revisión para identificar los

diversos criterios de criticidad y las futuras líneas de investigación que existen en la literatura científica sobre este tema. Como primer paso, es esencial establecer preguntas de investigación (PI) claras y precisas para guiar la búsqueda y selección de estudios relevantes. En este caso, las principales PI planteadas fueron:

PI1: ¿Qué modelos y métodos de criticidad para la jerarquización de activos se han propuesto?

PI2: ¿Qué criterios de criticidad se han abordado en la literatura científica?

PI3: ¿Qué criterios de criticidad proporcionan información más relevante para el análisis?

#### Criterios de inclusión

1. Artículos científicos que propongan o apliquen métodos de evaluación de la criticidad alternativos a FMEA/FMEAC (*Failure Modes and Effects Analysis/Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*)
2. Estudios que demuestren la eficacia de otros enfoques de evaluación de la criticidad en diferentes campos o sectores
3. Investigaciones que integren o complementen la evaluación de la criticidad de los activos con nuevas herramientas o técnicas

#### Exclusión:

1. Artículos científicos que utilicen exclusivamente FMEA/FMEAC como método de evaluación de la criticidad.
2. Estudios que no aborden la evaluación de la criticidad de activos o procesos.
3. Estudios que no guarden relación con el ámbito de la evaluación de la criticidad.

Para garantizar la calidad y abarcar un mayor número de resultados, la búsqueda bibliográfica se realizó en varias bases de datos científicas, SCOPUS, IEEE Xplore, SpringerLink, Lens.org y SciELO. La búsqueda se realizó el noveno día de enero de 2024. Al introducir la ecuación de búsqueda "*criticality analysis*" AND *maintenance* AND NOT (*fmea* OR *fmea*), se utilizaron los siguientes filtros: título, resumen o palabras clave de artículos de investigación sin restricciones temporales ni de idiomas. Las referencias de los artículos se descargaron en formato .ris y se almacenaron en el Gestor Bibliográfico EndNote. A continuación, se realizó el filtrado eliminando los duplicados y los artículos que no cumplían los criterios de inclusión tras analizar el título, el resumen y las palabras clave. Del mismo modo, se descartaron los artículos que no cumplían con los criterios de inclusión y los que cumplían con los criterios de exclusión tras una revisión exhaustiva del contenido. Por último, se utilizó el método exhaustivo, que consistió en comprobar las referencias bibliográficas de los artículos seleccionados para añadir otros materiales que cumplieran los criterios de selección.

El estudio analizó la productividad de los artículos por año y se realizó análisis profundo para identificar los criterios de criticidad utilizados por los autores. Se utilizó la medida de *Jaccard* para examinar la correlación de distancias entre criterios, y los resultados se exportaron al software UCINET para calcular la proximidad y crear una red de similitud entre criterios y autores.

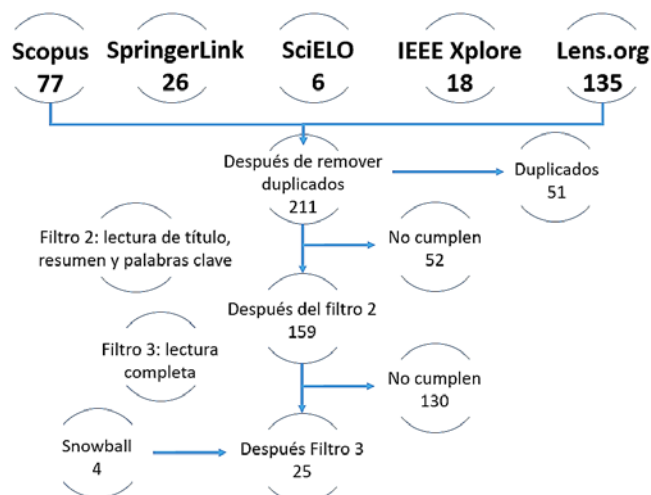
Se realizó una encuesta ([ver Anexo](#)) en línea a expertos utilizando la plataforma *Questionpro* para identificar los criterios más importantes y factibles a partir de los encontrados en la bibliografía, con el fin de mejorar la precisión de los criterios de criticidad. Los criterios se valoraron en una escala Likert de 5 puntos, en la que 1 indicaba el nivel más bajo y 5 el nivel más alto de importancia y factibilidad.

#### Dónde:

Importancia: El criterio es importante para el análisis de criticidad y/o complejidad y la toma de decisiones en el mantenimiento.

Factible: El criterio es posible de medir y/o evaluar de forma objetiva y precisa.

Esta sección ofrece respuestas a las preguntas de investigación planteadas. La figura 1 muestra los resultados del proceso de filtrado utilizado para identificar los estudios que cumplían los criterios de inclusión previamente establecidos.



**Fig. 1.** Proceso de revisión bibliográfica. Fuente: autores

La productividad por años de los artículos seleccionados es una forma de evaluar el impacto de la investigación en el campo a lo largo del tiempo. En la figura 2 se muestran los resultados de este indicador:



**Fig. 2.** Productividad por años de las investigaciones de análisis de criticidad. Fuente: autores

### 3. Sinergia entre criticidad y complejidad en la toma de decisiones de mantenimiento

La revisión identificó dos tipos de investigaciones: las investigaciones basadas en la criticidad y las investigaciones que combina criterios de criticidad y complejidad, como se representa en la figura 3.



**Fig. 3.** Clasificación de los artículos. Fuente: autores, basados en datos de [7, 8, 17–32]

El análisis de la sinergia entre los criterios de criticidad y complejidad en la toma de decisiones de mantenimiento representa un aspecto fundamental en la gestión efectiva de activos industriales. Este enfoque implica una consideración integral de múltiples factores que influyen en la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento [2, 3]. Al integrar tanto los aspectos críticos como los de complejidad, se logra una comprensión más completa y precisa de las necesidades y prioridades de mantenimiento. La sinergia entre estos dos criterios permite identificar no solo los componentes más críticos en términos de su impacto en la operatividad y seguridad de los sistemas, sino también aquellos que presentan desafíos significativos en términos de su complejidad técnica o logística [4, 5].

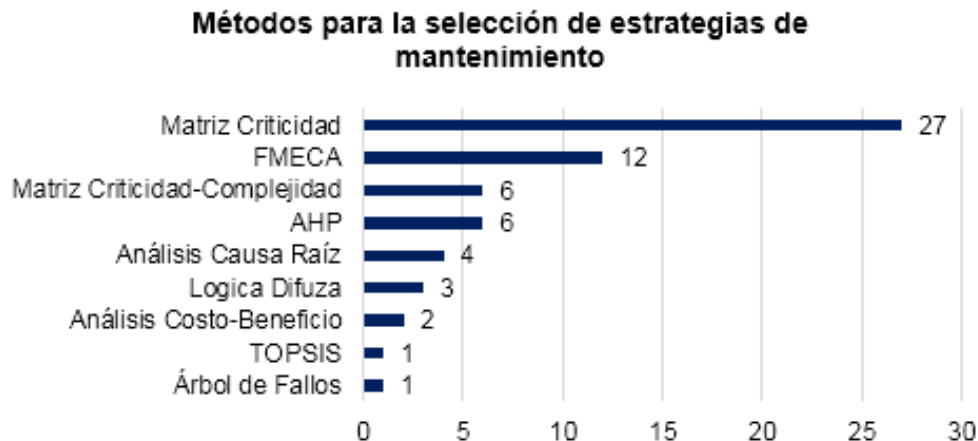
La consideración conjunta de los criterios de criticidad y complejidad permite una toma de decisiones más fundamentada y estratégica, ya que proporciona una perspectiva holística de la situación. Por ejemplo, un equipo o sistema puede ser crítico debido a su importancia para la producción o la seguridad, pero también puede ser altamente complejo en términos de su diseño o mantenimiento requerido. En este sentido, la sinergia entre criticidad y complejidad permite priorizar adecuadamente las actividades de mantenimiento, asignando recursos de manera óptima para abordar tanto los aspectos críticos como los desafíos técnicos asociados.

El debate dentro de este tema no solo se centra en los beneficios de considerar la sinergia entre criticidad y complejidad, sino también en los desafíos y oportunidades que surgen de esta integración. Por un lado, existe la necesidad de encontrar un equilibrio adecuado entre estos dos enfoques, ya que dar excesiva prioridad a uno sobre el otro puede resultar en decisiones subóptimas. Por otro lado, la identificación y gestión efectiva de esta

sinergia abre la puerta a nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y eficacia de las estrategias de mantenimiento, así como para anticipar y mitigar posibles riesgos o fallos.

#### PI1: ¿Qué modelos y métodos de análisis de criticidad se han propuesto?

Para determinar la criticidad de los componentes y asignarles valores pueden utilizarse distintos enfoques. Los métodos utilizados en la literatura incluyen entrevistas a expertos, lógica difusa [34, 35], análisis coste-beneficio [21, 33], técnicas de preferencia de orden por similitud con la solución ideal (TOPSIS) [22, 38], FMECA [13, 39], proceso jerárquico analítico (AHP) [7, 40] y árbol de fallos [41, 42] y distintos modelos de criticidad [43, 45], para llegar a una decisión final, los autores suelen utilizar una matriz de criticidad o riesgo, y otros investigadores emplean gráficos de barras. Estos métodos se ilustran en la figura 4.



**Fig. 4.** Métodos utilizados para el análisis de criticidad. Fuente: autores

La matriz de riesgo/criticidad [46, 47] es una herramienta utilizada para evaluar la probabilidad de fallo y sus consecuencias, incluidos los incidentes económicos, de seguridad, medioambientales y de calidad. Las empresas la utilizan para determinar la criticidad de procesos o equipos [48]. La probabilidad de fallo puede obtenerse de bases de datos estándar del sector. En algunos casos, los elementos críticos pueden fallar con frecuencia pero recuperarse sin un impacto significativo en la producción. La Matriz de Criticidad/Complejidad [18, 31] integra estos criterios y los presenta cuantitativa y gráficamente. Esto implica que, además, de calcular un índice de criticidad para cada activo, también se calcula un índice de complejidad utilizando indicadores propios del tipo de planta o proceso. Un activo complejo podría requerir estrategias de mantenimiento más sofisticadas, personal más capacitado, repuestos más especializados, etc., incluso si su nivel de criticidad no es el más alto. El análisis de complejidad complementa el análisis de criticidad al considerar la complejidad intrínseca del activo como un factor adicional a tener en cuenta en la gestión de mantenimiento, además del impacto de su posible falla.

El AHP es un método multicriterio utilizado para clasificar y seleccionar las mejores opciones de un conjunto de alternativas basándose en criterios específicos [36, 49]. Se utiliza para analizar las dimensiones técnica, económica, social y medioambiental, junto con sus respectivos indicadores cuantitativos y cualitativos, para la gestión del mantenimiento. La metodología de mantenimiento basada en el riesgo y la criticidad utiliza también la lógica difusa para manejar información imprecisa o insuficiente [44]. En lugar de la lógica booleana, se emplea un sistema de inferencia difusa que utiliza funciones de pertenencia y reglas difusas. La teoría de conjuntos difusos permite tener en cuenta tanto la información cuantitativa como la cualitativa definida de forma imprecisa, lo que proporciona una mayor flexibilidad a la hora de analizar y evaluar el riesgo o la criticidad de los elementos de un sistema de mantenimiento [51].

Estos métodos y modelos para el análisis de criticidad presentan algunas limitaciones. Las entrevistas a expertos pueden estar sujetas a subjetividad y variabilidad, lo que las hace costosas y lentas. La lógica difusa y las técnicas de preferencia pueden ser difíciles de interpretar debido a una asignación de pesos pobremente definida. El análisis de costos puede no reflejar plenamente la criticidad de un componente, ya que puede no incluir costos no monetarios como el impacto medioambiental o los riesgos de seguridad. Los costos de mantenimiento y reparación pueden verse afectados por problemas logísticos, como retrasos debidos a la falta de piezas, consumibles y accesorios. La disponibilidad de datos históricos precisos también puede limitar el alcance del análisis de costos. En el caso del análisis de complejidad se dificulta la determinación de indicadores. Si bien la criticidad tiene factores más establecidos, definir indicadores apropiados para medir la complejidad de un activo puede ser un desafío, especialmente en plantas o procesos muy específicos.

La capacidad de los expertos para emitir juicios coherentes y precisos sobre la importancia relativa de los criterios y componentes puede limitar el AHP. Además, este método puede ser susceptible a la influencia de la parcialidad de los evaluadores y a las variaciones en la calidad de los datos. La falta de datos históricos precisos y completos podría afectar a la exactitud de los resultados. En general, es importante elegir un método de AC adecuado a la situación y a la unidad de producción, y seleccionar correctamente a los expertos y especialistas para la evaluación de la criticidad y la complejidad.



**PI2: ¿Qué criterios de criticidad se han abordado en la literatura científica?**

Después de la revisión de los artículos, se extrajeron un total de 35 criterios, de ellos 25 de criticidad y 9 de complejidad, los cuales se muestran en la tabla 1 con sus significados.

**Tabla 1.** Criterios de criticidad y complejidad. Fuente: autores

<b>Criterios de criticidad</b>	<b>Significado</b>
Impacto ambiental	Efecto negativo que puede tener una falla en el medio ambiente y su capacidad de recuperación
Frecuencia de Falla	Número de veces que se espera que falle un componente en un período determinado
Impacto al ser humano	Efecto negativo que puede tener una falla en la seguridad de las personas
Costos de reparación	Costos directos asociados con la reparación de un componente o equipo
Coste de mantenimiento	Costos indirectos asociados con el mantenimiento regular de un componente o equipo
Impacto a la producción	Efecto negativo que puede tener una falla en la capacidad de producción o el tiempo de inactividad
Tiempo promedio para reparar	Tiempo estimado para reparar un componente o equipo después de una falla
Redundancia/Flexibilidad operacional	Capacidad de un sistema para continuar funcionando a pesar de la falla de un componente o equipo
Incumplimiento del objeto social/insatisfacción del cliente	Efecto negativo que puede tener una falla en la satisfacción del cliente o el cumplimiento de los objetivos de la organización
Coste del componente	Coste de reemplazar o reparar un componente o equipo después de una falla
Detectabilidad	Facilidad para detectar una falla en un componente o equipo
Impacto operacional	Efecto negativo que puede tener una falla en la capacidad de operación de un componente o equipo
Coste por pérdida de producción	Costos asociados con la pérdida de producción debido a una falla
Impacto en la calidad del producto	Efecto negativo que puede tener una falla en la calidad de los productos o servicios
Capacidad productiva	Capacidad de un equipo o sistema para producir a un cierto nivel
Nivel de utilización	Nivel de uso de un componente o equipo
Impacto por baja mantenibilidad	Efecto negativo que puede tener una falla en la facilidad de mantenimiento de un componente o equipo
Impacto a los recursos	Efecto negativo que puede tener una falla en el uso de los recursos, como energía o materiales
Dependencia funcional	Dependencia de un componente o equipo en otros componentes o equipos para su funcionamiento
Confort	Efecto negativo que puede tener una falla en el confort de los usuarios del equipo o sistema
Disponibilidad	Disponibilidad de un componente o equipo para su uso o reparación
Dependencia del diseño e implementación	Dependencia de un componente o equipo en su diseño o implementación
Disponibilidad de las especificaciones técnicas	Disponibilidad de especificaciones técnicas precisas de un componente o equipo
Efecto de propagación	Efecto negativo que puede tener una falla en otros componentes o equipos
Nivel de automatización	Nivel de automatización de un componente o equipo
<b>Criterios de complejidad</b>	<b>Significado</b>
Complejidad ubicacional	Grado de dificultad que existe para acceder a un activo, ya sea por su ubicación geográfica o por las condiciones necesarias para acceder a él.
Complejidad productiva	Evalúa cuan complejo es el activo en su manipulación, el nivel de preparación que debe tener el operador para poder trabajar con el mismo de manera efectiva y segura.
Número de componentes	Cantidad de componentes que conforman el equipo o sistema
Complejidad mecánica	Indica grado de preparación, habilidad técnica y la capacitación necesaria del personal de mantenimiento para llevar a cabo alguna acción sobre el equipo que se evalúa de manera efectiva y segura.
Complejidad comportamental	Grado de complejidad asociado a la interacción entre los componentes y/o sistemas
Complejidad ambiental	Grado de complejidad asociado al ambiente en el que se encuentra el equipo o sistema, condiciones climáticas, operativas y de uso a las que está sometido el equipo o sistema
Complejidad tecnológica	La complejidad tecnológica indica el nivel tecnológico necesario para la operación y mantenimiento de un activo industrial, considerando sus características y prestaciones
Tiempo de diagnóstico	Tiempo estimado para detectar dónde está la falla
Tiempo de desmontaje	Tiempo estimado para desmontar un componente o equipo para la reparación

Los artículos revisados destacan el uso de los criterios de complejidad para la gestión del mantenimiento y la toma de decisiones, pero la falta de una definición clara de complejidad dificulta el tratamiento eficaz de sus

retos. Esto puede afectar a los informes, la asignación de recursos y la implementación de estrategias de mantenimiento. A partir de las investigaciones revisadas, se puede presentar una aproximación conceptual de la complejidad en el contexto del mantenimiento. Se refiere a la naturaleza confusa y complicada de un sistema o equipo que dificulta la realización de una tarea técnica de forma segura y eficaz. Esto se debe a la necesidad de una comprensión profunda y detallada de su funcionamiento, estructura, interacción y comportamiento. Por consecuencia, se define que el análisis de complejidad es un proceso sistemático que tiene como objetivo evaluar y comprender la dificultad y la interrelación de diferentes aspectos inherentes a un sistema, equipo o proceso. Este análisis implica descomponer y examinar las diversas dimensiones que contribuyen a la complejidad de un sistema o activo, como la ubicación, la estructura, la interacción de componentes, el entorno operativo, la tecnología involucrada, la experticia y los recursos necesarios para comprender los factores que contribuyen a la dificultad en su gestión, operación y mantenimiento.

**PI3: ¿Qué criterios de criticidad proporcionan la información más relevante?**

La cantidad de veces que se utilizó cada uno de los criterios de criticidad y complejidad se muestran en las figuras 5 y 6 respectivamente.

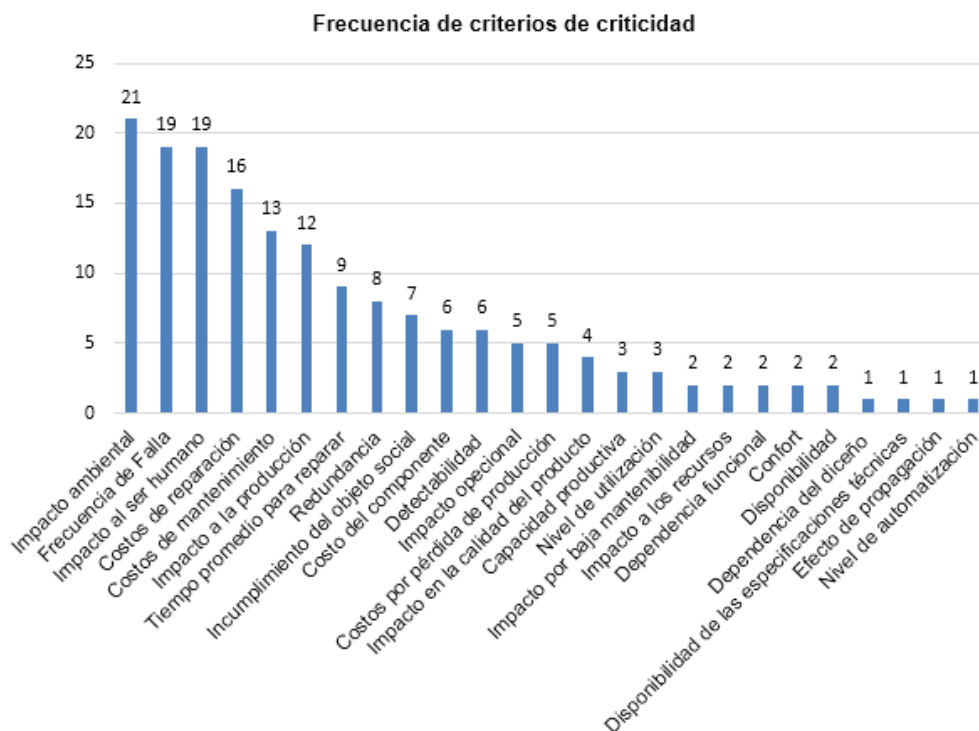


Fig. 5. Frecuencia de criterios de criticidad. Fuente: autores

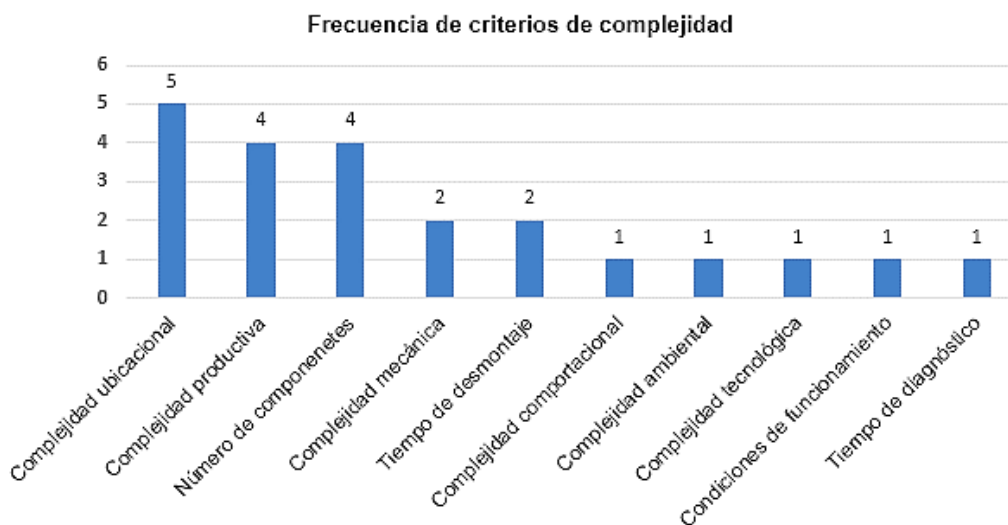


Fig. 6. Frecuencia de criterios de complejidad. Fuente: autores

Los criterios de mayor aceptación para valorar la criticidad en la literatura científica son: Impacto ambiental, Frecuencia de Falla, Impacto al ser humano, Costos de reparación, Costos de mantenimiento e Impacto a la producción. Esto indica que son criterios relevantes en la aplicación de análisis de criticidad, y que las organizaciones les otorgan una gran importancia. Aunque en menor medida los criterios de tiempo promedio

para reparar, redundancia/flexibilidad operacional, incumplimiento del objeto social/insatisfacción del cliente, coste del componente y detectabilidad, también se han utilizado en varias ocasiones para valorar la criticidad debido a su importancia.

En cuanto a los criterios de complejidad, se observa que las organizaciones están preocupadas por la complejidad en cuanto a la ubicación y el acceso a los activos, la complejidad en la manipulación y el nivel de preparación necesario para trabajar con los mismos, así como la cantidad de componentes que conforman los equipos y sistemas. Estos criterios también resaltan la necesidad de contar con un personal capacitado y preparado para manejar y mantener los equipos de manera segura y efectiva, así como la importancia de la cantidad y complejidad de los componentes en el análisis para la toma de decisiones de mantenimiento.

También es posible que los criterios con una menor frecuencia no hayan sido considerados tan relevantes. Algunos criterios son más difíciles de medir o evaluar en comparación con otros, lo que puede hacer que las organizaciones los utilicen con menos frecuencia. Además, puede haber limitaciones en la capacidad de recolectar datos o de acceso a la información necesaria para evaluar ciertos criterios. Remarcar también que hay criterios especializados y adaptados para determinados escenarios en los que brindan información más útil que otros y, por ende, son menos empleados.

Con los datos extraídos de los criterios de criticidad y complejidad, también se calculó la centralidad de autores y de los criterios, figura 7. El tamaño de los nodos representa la centralidad y el grosor de las líneas representa la fuerza del vínculo.

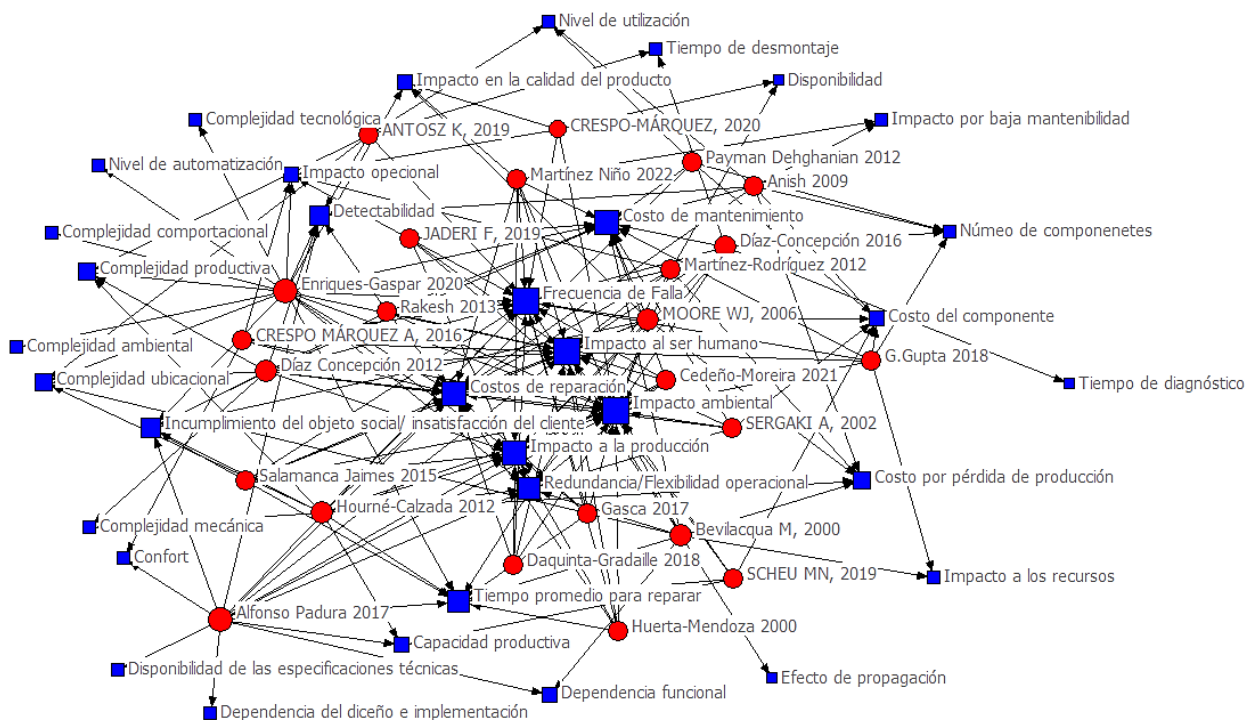


Fig. 7. Centralidad de autores y criterios. Fuente: autores

En la figura 7 también se muestra la cantidad de criterios utilizados en las investigaciones de cada autor. Los autores Enriques-Gaspar y Alfonso Padura son los que más criterios consideraron en sus investigaciones, con 18 y 14 respectivamente. Le siguen Hourné-Calzada, Díaz Concepción y Bevilacqua M. con 12 y 11 criterios respectivamente. Estos autores consideraron una gran variedad de factores en su estudio y realizaron un análisis más exhaustivo y completo. De esta forma se abordó una mayor cantidad de enfoques que pueden ayudar a los decisores y gestores del mantenimiento. Esto también significa que los autores tuvieron en cuenta una amplia gama de perspectivas y buscaron una comprensión más global del tema que se está investigando.

Se evidenció una mayor correlación entre criterios como Impacto ambiental, Frecuencia de Falla, Impacto al ser humano, Costos de reparación, Coste de mantenimiento, Impacto a la producción, Redundancia/flexibilidad operacional, Incumplimiento del objeto social/insatisfacción del cliente, Coste del componente y Detectabilidad, debido a la centralidad y la co-ocurrencia. Esto indica que estos criterios tienen una mayor influencia en la evaluación y gestión de los riesgos en la empresa. En cuanto a la complejidad, hay muy pocas publicaciones al respecto para dar una respuesta clara, aunque son menos el número de criterios utilizados y su manera de evaluación generalmente consiste en una sumatoria de todos los criterios.

### 3.1. Determinación de los expertos para la encuesta

Se seleccionaron y encuestaron a quince expertos, entre académicos y gestores de mantenimiento para determinar los criterios más importantes y viables para efectuar un análisis de criticidad y complejidad. Solo se presentaron a los expertos 24 criterios de los antes mencionados, debido a que estos eran los más generales y

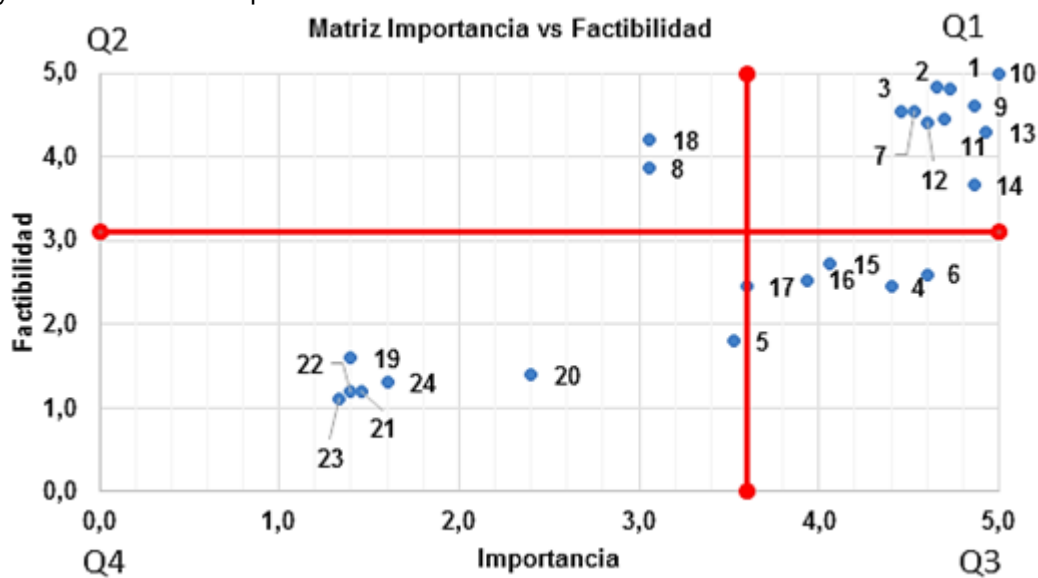


se excluyeron los criterios específicos. Los expertos fueron seleccionados en función de su titulación académica, experiencia, experiencia investigativa y su participación en eventos relacionados con el tema. Se determinó el Coeficiente de Conocimiento (Kc), el Coeficiente de Argumentación (Ka) y el Coeficiente de Competencia (K) de cada experto. Los resultados muestran un alto nivel entre los expertos en cuanto a la importancia y Factibilidad de los criterios de criticidad. Así lo corroboran los elevados valores de concordancia de W de Kendall y el significativo estadístico chi-cuadrado presentado en la tabla 2.

**Tabla 2.** Consenso entre expertos. Fuente: autores

	Importancia	Factibilidad
W de Kendall	0,827	0,900
Chi-cuadrado	285,15	310,58

Las encuestas realizadas a los expertos en gestión del mantenimiento identificaron los criterios más importantes y factibles para el análisis de criticidad y complejidad (la encuesta aplicada se muestra en el Anexo). Estos criterios obtuvieron una alta puntuación en importancia y factibilidad, con un consenso superior al 80 %. Con la puntuación de los expertos en cada criterio se confeccionó una matriz de importancia contra factibilidad, mostrada en la figura 8, que se dividió en 4 cuadrantes, Q1: Importantes y Factibles, Q2: factibles y menos importantes, Q3: importantes, pero menos factibles y Q4: menos factibles y menos importantes. La tabla 3 muestra la leyenda de la matriz importancia contra factibilidad.



**Fig. 8.** Matriz Importancia vs Factibilidad. Fuente: autores

**Tabla 3.** Leyenda de la matriz Importancia vs. Factibilidad. Fuente: autores

No.	Criterio	No.	Criterio	No.	Criterio
1	Tiempo de diagnóstico	9	Coste de reparación	17	Redundancia/flexibilidad operativa
2	Tiempo de desmontaje	10	Frecuencia de averías	18	Costos de mantenimiento
3	Número de componentes	11	Tiempo medio de reparación	19	Nivel de automatización
4	Complejidad operacional	12	Costos por pérdida de producción	20	Dependencia funcional
5	Complejidad tecnológica	13	Impacto humano	21	Nivel de utilización
6	Complejidad mecánica	14	Impacto medioambiental	22	Capacidad productiva
7	Complejidad ubicacional	15	Impacto en la producción	23	Bajo impacto en la mantenibilidad
8	Complejidad ambiental	16	Impacto operacional	24	Dependencia funcional

Los criterios que están en el Q1 son la frecuencia de fallas, número de componentes, el tiempo promedio para reparar, el coste por pérdida de producción, los costos de reparación, tiempo de diagnóstico, tiempo de desmontaje, complejidad ubicacional, impacto ambiental e impacto al ser humano. Estos criterios deben recibir la mayor atención, ya que son cruciales para el análisis y tienen una alta probabilidad de ser implementados con éxito. En el Q2 se encuentran los criterios complejidad ambiental y costos de mantenimiento, también deben ser considerados, pero no a expensas de los criterios más importantes. En el Q3 se encuentran el impacto a la producción y a la operación, redundancia/ flexibilidad operacional, complejidad mecánica, y operacional, estos criterios pueden presentar mayores dificultades en cuanto a su medición o asignación de valores y pueden requerir más investigación y desarrollo para poder ser implementados con precisión. Los criterios que se

encuentran en Q4 son criterios más especializados en algún tipo de máquina en específico, por lo que se aplican solo en pocos análisis, y por esto son clasificados con baja importancia y factibilidad.

## Conclusiones

Esta investigación presentó una aproximación conceptual del análisis de complejidad desde la perspectiva de la gestión del mantenimiento y la jerarquización de activos. Además, se identificaron los criterios de criticidad y complejidad más relevantes, así como los métodos más utilizados en la literatura para la evaluación de la criticidad e importancia de los activos, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas en materia de mantenimiento. La incorporación de estos criterios a los análisis puede mejorar la eficiencia y la eficacia de las decisiones relacionadas con el mantenimiento. Por otra parte, además del análisis de la criticidad, debería emplearse un enfoque de análisis de la complejidad para obtener una comprensión más completa de la situación, lo que conduciría a una mayor fiabilidad de los activos industriales.

## Referencias

- Fan C, Montewka J, Zhang D, Han Z. A framework for risk matrix design: A case of MASS navigation risk. *Accid Anal Prev*. 2024;199:107515. DOI 10.1016/j.aap.2024.107515
- Bevilacqua M, Braglia M. Analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliab Eng Syst Saf*. 2000;70(1):71-83. DOI 10.1016/S0951-8320(00)00047-8
- Huang Y, Wang P, Wang Y, Wang H, Zhang Y, Xu X, et al. Criticality assessment of minerals associated with China's battery technologies. *J Clean Prod*. 2024;448:141577. DOI 10.1016/j.jclepro.2024.141577
- Birolini A. *Reliability Engineering*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2004. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05409-3>
- Bardey D, Riane F, Artiba A, Eeckhoudt L. To maintain or not to maintain? What should a risk-averse decision maker do? *J Qual Maint Eng*. 2005;11(2):115-20. DOI 10.1108/13552510510601320
- González Sosa J, Avila-Soler E. Análisis de criticidad para el mantenimiento en equipos de soldadura en una Universidad Mexicana. *Rev Ing Ind Actual Nuev Tend*. 2023;8:43-60. DOI 10.54139/riiant.v8i30.480.
- Díaz Concepción A, del Castillo Serpa A, Toledo García M, Cabrera Gómez J. Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica. *Ingeniería Energética*. 2016;37(3):217-27.
- Sprefaco C, Russo D, Rizzi C. A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents. *Comput Sci Rev*. 2017;25:19-28. DOI 10.1016/j.cosrev.2017.05.002.
- Huang J, You J, Liu H, Song M. Failure mode and effect analysis improvement: A systematic literature review and future research agenda. *Reliab Eng Syst Saf*. 2020 ;199:106885. DOI 10.1016/j.ress.2020.106885.
- Abu Dabous S, Ibrahim F, Feroz S, Alsyouf I. Integration of failure mode, effects, and criticality analysis with multi-criteria decision-making in engineering applications: Part I – Manufacturing industry. *Eng Fail Anal*. 2021;122:105264. DOI 10.1016/j.engfailanal.2021.105264.
- Alfonso Padura Y, Rodríguez Piñeiro A, García AE, Calzada M, Concepción A, Pérez G. Análisis de criticidad en los sistemas mecánicos de los grupos electrógenos. *Rev Ing Ene*. 2017;38(3):224-230.
- Hourné Calzada MB, Brito Vallina M, Castillo Serpa A del, Fraga Guerra E, Díaz Concepción A. Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. *Rev Cienc Téc Agropecu*. 2012;21(3):55-61.
- Sina LB, Nazemi K. Visual Analytics for Systematic Reviews According to PRISMA. In: 2022 26th International Conference Information Visualisation (IV). Vienna, Austria: IEEE; 2022. DOI 10.1109/IV56949.2022.00059.
- Sergaki A, Kalaitzakis K. A fuzzy knowledge based method for maintenance planning in a power system. *Reliab Eng Syst Saf*. 2002;77(1):19-30. DOI 10.1016/S0951-8320(02)00010-8.
- Price R, Shanks G, Burstein F, Holsapple C. Data Quality and Decision Making. In: *Handbook on Decision Support Systems 1*. International Handbooks Information System. Heidelberg, Berlin: Springer; 2008. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-48713-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-48713-5_4)
- Dehghanian P, Fotuhi-Firuzabad M, Bagheri-Shouraki S, Kazemi A. Critical Component Identification in Reliability Centered Asset Management of Power Distribution Systems Via Fuzzy AHP. *IEEE Syst J*. 2012;6(4):593-602. DOI 10.1109/JSYST.2011.2177134
- Singh R, Kulkarni M. Criticality analysis of power-plant equipments using the analytic hierarchy process. *Int J Ind Eng Technol IJNET*. 2013;3(4):1-14. DOI 10.1016/j.matpr.2017.02.038
- Abdulla H, Sleptchenko A, Nayfeh A. Photovoltaic systems operation and maintenance: A review and future directions. *Renew Sustain Energy Rev*. 2024;195:114342. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114342>
- Page MJ, McKenzie J, Bossuyt P, Boutron I, Hoffmann T, Mulrow C, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372(71):114342. DOI 10.1136/bmj.n71
- Moore W, Starr A. An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities. *Comput Ind*. 2006;57(6):595-606. DOI 10.1016/j.compind.2006.02.008.
- Sachdeva A, Kumar P, Kumar D. Maintenance criticality analysis using TOPSIS. *Proc 2009, IEEE IEEM*. Hong Kong, China: IEEE; 2009. DOI 10.1109/IEEM.2009.5373388
- Martínez Rodríguez O, Dorrbeker Drake S. Determinación de las Prioridades de Mantenimiento en Turbogeneradores "Elektrosila TBΦ-100-3600-T3" a partir del Comportamiento de sus Fallos. *Ingeniería Energética*. 2012;33(3):250-262.
- Salamanca Jaimes JE, Ochoa JA, Camacho EA. Análisis de criticidad y árboles de diagnóstico de fallas para transformadores de potencia. *Rev Colomb Tecnol Av*. 2015;1(27):10-21. DOI 10.24054/16927257.v27.n27.2016.2544.
- Gasca MC, Camargo LL, Medina B. System to assess the reliability of critical equipment in the industrial sector. *Inf Tecnol*. 2017;28(4):111-124. DOI 10.4067/S0718-07642017000400014.
- Daquinta Gradaille A, Pérez Olmo C, Águila Gómez J, Pérez Reyes R, García Aragón E. Metodología de Análisis de criticidad integral de las cosechadoras de caña de azúcar CASE IH. *Rev Ing Agríc*. 2018;8(2):55-61.
- Antosz K, Ratnayake R. Spare parts criticality assessment and prioritization for enhancing manufacturing systems' availability and reliability. *J Manuf Syst*. 2019;50:212-25. DOI 10.1016/j.jmsy.2019.01.003.
- Jaderi F, Ibrahim Z, Zahiri M. Criticality analysis of petrochemical assets using risk based maintenance and the fuzzy inference system. *Process Saf Environ Prot* 2019;121:312-25. DOI 10.1016/j.psep.2018.11.005.
- Scheu MN, Tremps L, Smolka U, Kolios A, Brennan F. A systematic Failure Mode Effects and Criticality Analysis for offshore wind turbine systems towards integrated condition based maintenance strategies. *Ocean Eng*. 2019;176:118-33. DOI 10.1016/j.oceaneng.2019.02.048.

29. Crespo Márquez A, Moreu De León P, Sola Rosique A, Gómez Fernández JF. Criticality Analysis for Maintenance Purposes: A Study for Complex In-service Engineering Assets. *Qual Reliab Eng Int.* 2016;32(2):519-33. DOI 10.1002/qre.1769.
30. Díaz Concepción A, del Castillo-Serpa A, Toledo García M, Cabrera Gómez J. Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica. *Ingeniería Energética.* 2016;37(3):217-27.
31. Gupta G, Mishra R. Identification of Critical Components Using ANP for Implementation of Reliability Centered Maintenance. *Procedia CIRP.* 2018;1;(69):905-909. DOI 10.1016/j.procir.2017.11.122.
32. Ge X, Zhou Q, Liu Z. Assessment of space station on-orbit maintenance task complexity. *Reliab Eng Syst Saf.* 2020;193:106661. DOI 10.1016/j.ress.2019.106661.
33. Dui H, Zhang Y, Bai G. Analysis of variable system cost and maintenance strategy in life cycle considering different failure modes. *Reliab Eng Syst Saf.* 2024;243:109824. DOI 10.1016/j.ress.2023.109824.
34. Zhu J, Chen Z, Shuai B, Pedrycz W, Chin KS, Martínez L. Failure mode and effect analysis: A three-way decision approach. *Eng Appl Artif Intell.* 2021;106:104505. DOI 10.1016/j.engappai.2021.104505.
35. Bouabid DA, Hadeif H, Innal F. Maintenance as a sustainability tool in high-risk process industries: A review and future directions. *J Loss Prev Process Ind.* 2024;89:105318. DOI 10.1016/j.jlp.2024.105318.
36. Alkabaa AS, Taylan O, Guloglu B, Baik S, Sharma V, Mishra R, et al. A fuzzy ANP-based criticality analyses approach of reliability-centered maintenance for CNC lathe machine components. *J Radiat Res Appl Sci.* 2024;17(1):100738. DOI 10.1016/j.jrras.2023.100738.
37. Behnia F, Zare Ahmadabadi H, Schuelke-Leech BA, Mirhassani M. Developing a fuzzy optimized model for selecting a maintenance strategy in the paper industry: An integrated FGP-ANP-FMEA approach. *Expert Syst Appl.* 2023;232:120899. DOI 10.1016/j.jrras.2023.100738.
38. Wang M, Chen C, Fan B, Yin Z, Li W, Wang H, et al. Multi-Objective Optimization of Envelope Design of Rural Tourism Buildings in Southeastern Coastal Areas of China Based on NSGA-II Algorithm and Entropy-Based TOPSIS Method. *Sustain Switz* 2023;15(9):7238. DOI 10.3390/su15097238
39. Zhang Y, Fang L, Zhao J, Qi Z, Deng H. An improved FMECA method for equipment reliability based on information fusion. *Phys Scr.* 2024;99(5):055207. DOI 10.1088/1402-4896/ad35fa
40. Amran M, Aziz S, Muhtazaruddin M, Masrom M, Haron H, Bani N, et al. Critical assessment of medical devices on reliability, replacement prioritization and maintenance strategy criterion: Case study of Malaysian hospitals. *Qual Reliab Eng Int.* 2024;40(2):970-1001. DOI 10.1088/1402-4896/ad35fa
41. Sonawane P, Bhandari S, Patil R, Al-Dahidi S. Reliability and Criticality Analysis of a Large-Scale Solar Photovoltaic System Using Fault Tree Analysis Approach. *Sustain Switz.* 2023;15(5): DOI 10.3390/su15054609.
42. Dhouibi H, Chihani K, Gascard E, Simeu-Abazi Z. Application of fault trees and Bayesian networks for maintenance. In: 2023 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD). Rome, Italy: IEEE. 2023. DOI 10.1109/ICCAD57653.2023.10152333.
43. Gaspar D, Lopes O, Costa J, Grilo E. Assessment and Prioritization of Critical Assets for Updating Maintenance Plans in a Biomass Power Plant. In: 16th WCEAM Proceedings 3031254473, 9783031254475. USA: Springer International Publishing; 2023. DOI 10.1007/978-3-031-25448-2\_44.
44. Lee J, Park C, Baek S, Han S, Yun S. Risk-based prioritization of sewer pipe inspection from infrastructure asset management perspective. *Sustain Switz.* 2021;13(13): 7213. <https://doi.org/10.3390/su13137213>
45. Ciani L, Guidi G, Patrizi G. A Critical Comparison of Alternative Risk Priority Numbers in Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis. *IEEE Access.* 2019;7:92398-409. DOI 10.1109/ACCESS.2019.2928120.
46. Ozfirat M, Ozfirat P, Yetkin M. Risk Management for Surface Plants in Mines using Risk Matrix and BowTie Analysis. *Acta Montan Slovaca.* 2023;28(1):47-58. DOI 10.46544/AMS.v28i1.05.
47. Polenghi A, Roda I, Macchi M, Pozzetti A. Multi-attribute Ontology-based Criticality Analysis of manufacturing assets for maintenance strategies planning. *IFAC-Pap.* 2021;54(1):55-60. DOI 10.1016/j.ifacol.2021.08.192.
48. Chakhrat A, Bougofa M, Guetarni I, Bouafia A, Kharzi R, Nehal N, et al. A hybrid integrated multi-criteria decision-making approach for risk assessment: a study of automotive parts industry. *Int J Qual Reliab Manag.* 2024;41(4):1020-43. DOI 10.1108/IJQRM-01-2023-0010.
49. Bohrey O, Chatpalliwar A. Application of Reliability Centred Maintenance in Improving Aircraft Availability with Preventive Maintenance Intervention. *J Adv Res Appl Sci Eng Technol.* 2024;42(1):115-29. DOI 10.37934/araset.42.1.115129.
50. Castro P, Lira G, Vilar PB, Costa E, Carvalho F. Fuzzy Inference System Development for Turbogenerator Failure Diagnosis on Floating Production Offloading and Storage Platform. *Energies.* 2024;17(2):392. DOI 10.3390/en17020392.
51. Shahri M, Jahromi A, Houshmand M. An integrated fuzzy inference system and AHP approach for criticality analysis of assets: A case study of a gas refinery. *J Intell Fuzzy Syst.* 2021;41(1):199-217. DOI 10.3233/JIFS-201407.

## Anexo. Encuesta para la evaluación de criterios de criticidad y complejidad

Estimado experto:

[Anterior](#)

La presente encuesta tiene como objetivo identificar los criterios más relevantes para el análisis de criticidad y complejidad en la industria. Los datos recopilados serán tratados con la confidencialidad debida y solo se utilizarán con fines académicos. Agradecemos de antemano su colaboración.

### Información solicitada a los expertos

Área de especialización o experiencia relevante.

Grado científico y formación académica.

Años de experiencia en el campo del mantenimiento.

Empresa o institución en la que trabaja.

La siguiente sección de la encuesta tiene como objetivo recopilar su percepción sobre la relevancia de los criterios de criticidad y complejidad. A continuación, se presentarán diversos criterios junto con las dos cualidades evaluadas. Le solicitamos que indique la relevancia de cada cualidad para cada criterio utilizando una escala del 1 al 5, donde 5 indica la máxima relevancia y 1 indica que no es relevante. Teniendo en cuenta que:

Importante: el criterio es importante para el análisis de criticidad y/o complejidad y la toma de decisiones de mantenimiento.

Factible: el criterio es posible de medir y/o evaluar de forma objetiva y precisa.

No	Criterios	Importante	Factible
1	Tiempo de diagnóstico		
2	Tiempo de desmontaje		
3	Número de componentes		
4	Complejidad operacional		
5	Complejidad tecnológica		
6	Complejidad mecánica		
7	Complejidad ubicacional		
8	Complejidad ambiental		
9	Coste de reparación		
10	Frecuencia de averías		
11	Tiempo medio de reparación		
12	Costos por pérdida de producción		
13	Impacto humano		
14	Impacto medioambiental		
15	Impacto en la producción		
16	Impacto operacional		
17	Redundancia/flexibilidad operativa		
18	Costos de mantenimiento		
19	Nivel de automatización		
20	Dependencia funcional		
21	Nivel de utilización		
22	Capacidad productiva		
23	Bajo impacto en la mantenibilidad		
24	Dependencia funcional		

**Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

**Contribución de los autores**

**Raúl Torres Sainz.** <http://orcid.org/0000-0003-02180407>

Dirigió el diseño del estudio y el método de investigación, identificó brechas de investigación, colaboró en el filtrado y análisis de artículos, analizó la productividad de los artículos por año y participó en la identificación de criterios de criticidad mediante el análisis riguroso de la bibliografía. Aplicación y análisis de la encuesta. Obtención, análisis e interpretación de los resultados de la matriz Importancia vs Factibilidad. Además. También trabajó en la redacción del borrador del artículo y la revisión crítica de su contenido intelectual sustancial así como en la aprobación final de la versión.

**Lidia María Pérez Vallejo.** <http://orcid.org/0000-0001-8602-5898>

Trabajó en la búsqueda y selección de artículos en bases de datos científicas. Además, analizó la frecuencia de uso de los criterios y diseñó la encuesta. También trabajó en la redacción del borrador del artículo y la revisión crítica de su contenido intelectual sustancial así como en la aprobación final de la versión.

**Carlos Alberto Trinchet Varela.** <http://orcid.org/0000-0001-5375-2968>

Participó en la recopilación y organización de referencias. Además de la obtención de las tablas y figuras a partir del análisis de los datos. Además, participó en la clasificación de métodos y criterios revisados en la bibliografía. Realizó el cálculo del consenso entre expertos a partir de los resultados de la encuesta. También trabajó en la redacción del borrador del artículo y la revisión crítica de su contenido intelectual sustancial así como en la aprobación final de la versión.

**Roberto Pérez Rodríguez.** <http://orcid.org/0000-0001-5741-5168>

Realizó al análisis y síntesis de la literatura seleccionada, participó en la redacción de las preguntas de investigación y conclusiones del artículo, colaboró en la identificación de los expertos de la encuesta y confeccionó y analizó la red de similitud de criterios y autores mediante el software UCINET. También trabajó en la redacción del borrador del artículo y la revisión crítica de su contenido intelectual sustancial así como en la aprobación final de la versión.

**Julio E. de la Rosa.** <http://orcid.org/0000-0001-6334-0211>

Redactó la introducción y revisó los antecedentes de la investigación. Búsqueda, selección y análisis de artículos en la base de datos Scopus. Identificación de los expertos internacionales de la encuesta. También realizó un análisis de correlación entre criterios. Trabajó en la redacción del borrador del artículo y la revisión crítica de su contenido intelectual sustancial así como en la aprobación final de la versión.