

Modelos de evaluación y adopción tecnológica: un análisis comparativo en contextos de tecnologías emergentes

Technology Assessment and Adoption Models: A Comparative Analysis in Emerging Technology Contexts

Beatriz Alvarado Robles^{1a} , Víctor Manuel Alonso Mendoza^{1b} , Francesco García^{1a} , Alma Guadalupe Rodríguez Ramírez^{1a}  

¹ {^aDepartamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología}, {^bSubdirección de Formación Integral, Dirección General de Formación y Profesionalización}, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; Ciudad Juárez, Chihuahua, México

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es comparar los alcances y limitaciones de cuatro enfoques utilizados en la evaluación y adopción de tecnologías: Technology Acceptance Model (TAM), System Usability Scale (SUS), Technology Readiness Levels (TRL) y el modelo motivacional ARCS. Se realizó un estudio documental descriptivo-comparativo, considerando propósito, dimensiones, ventajas, limitaciones y utilidad de cada enfoque frente a tecnologías emergentes. Los resultados muestran diferencias en los aspectos evaluados. TRL se centra en la madurez técnica; TAM, en la aceptación por parte de los usuarios; SUS, en la usabilidad percibida; y ARCS, en factores relacionados con la motivación. También se identificaron áreas de complementariedad, ya que una sola perspectiva puede ser insuficiente para valorar una tecnología. A partir de la comparación se propone un esquema conceptual que organiza los aportes de los cuatro enfoques y su relación con la toma de decisiones sobre la adopción tecnológica. Al tratarse de un análisis conceptual, fue necesario valorar su aplicación en contextos reales y tecnologías específicas. Los resultados sugieren que la selección o combinación de estos enfoques puede ampliar la información disponible para evaluar tecnologías emergentes y apoyar decisiones relacionadas con su selección, implementación y adopción.

PALABRAS CLAVE: tecnologías emergentes; adopción tecnológica; madurez tecnológica; usabilidad; motivación.

ABSTRACT

The objective of this research is to compare the scope and limitations of four approaches used in technology evaluation and adoption: the Technology Acceptance Model (TAM), the System Usability Scale (SUS), Technology Readiness Levels (TRL), and the ARCS motivational model. A descriptive-comparative documentary study was conducted, considering the purpose, dimensions, advantages, limitations, and utility of each approach regarding emerging technologies. The results highlight key differences in the aspects evaluated: TRL focuses on technical readiness; TAM, on user acceptance; SUS, on perceived usability; and ARCS, on motivation-related factors. Areas of complementarity were also identified, as relying on a single perspective may be insufficient to fully evaluate a technology. Based on this comparison, a conceptual framework is proposed to organize the contributions of all four approaches and their relationship with decision making in technology adoption. As this was a conceptual analysis, it was necessary to evaluate its application in real-world contexts and specific technologies. Ultimately, the findings suggest that selecting or combining these approaches can broaden the insights available for evaluating emerging technologies and better support decisions regarding their selection, implementation, and adoption.

KEYWORDS: emerging technologies; technology adoption; technology readiness; usability; motivation.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Alma Guadalupe Rodríguez Ramírez
INSTITUCIÓN: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez /
Instituto de Ingeniería y Tecnología
DIRECCIÓN: Av. del Charro núm. 450 norte, C. P. 23320, Ciudad Juárez, Chihuahua, México
CORREO ELECTRÓNICO: alma.rodriguez.ram@uacj.mx

Fecha de recepción: 9 de agosto de 2026. **Fecha de aceptación:** 23 de agosto de 2026. **Fecha de publicación:** 31 de agosto de 2026.



I. INTRODUCCIÓN

La evaluación de una tecnología emergente plantea una dificultad que va más allá de determinar si esta funciona o ha alcanzado un nivel suficiente de desarrollo. Una tecnología puede mostrar avances importantes desde el punto de vista técnico y, al mismo tiempo, presentar dificultades para ser utilizada, aceptada o incorporada de manera sostenida por sus usuarios. Estas diferencias adquieren relevancia cuando la evaluación se utiliza como apoyo para decidir sobre su selección, implementación o continuidad.

1.1. ENFOQUES PARA LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES

Los Technology Readiness Levels (TRL) permiten establecer el grado de madurez alcanzado por una tecnología durante su desarrollo [1]. Sin embargo, este indicador no determina por sí mismo su posibilidad de adopción. Östlund *et al.* encontraron, al analizar tecnologías robóticas aplicadas al ámbito de la salud, que el potencial de adopción de una tecnología técnicamente madura no puede valorarse de manera independiente del contexto social en el que será utilizada [2]. De manera similar, Trump *et al.* señalan que la evaluación de tecnologías emergentes requiere incorporar criterios adicionales a la madurez técnica y proponen complementar los TRL con aspectos relacionados con la seguridad durante las distintas etapas de desarrollo [3].

La respuesta de los usuarios constituye otra parte del proceso de evaluación. El Technology Acceptance Model (TAM) analiza la aceptación principalmente a partir de la utilidad y facilidad de uso percibidas [4]. Su aplicación continúa vigente frente a tecnologías recientes. Lee *et al.* documentaron su utilización en educación médica para estudiar diferentes tecnologías de aprendizaje, incluidas alternativas como realidad aumentada, realidad virtual e impresión 3D [5]. La misma revisión muestra un incremento sostenido en las publicaciones que utilizan TAM en este ámbito durante los últimos años.

La aceptación tampoco equivale necesariamente a usabilidad. La System Usability Scale (SUS), propuesta originalmente por Brooke [6], permite valorar la usabilidad percibida mediante un instrumento breve y estandarizado. Su utilización se mantiene vigente en diferentes soluciones digitales. En una evaluación psicométrica

publicada en 2025, Åvik Persson *et al.* reportaron una consistencia interna de $\alpha = 0.852$ y evidencia favorable de validez de constructo [7]. En contextos formativos, además, puede ser necesario considerar los factores que favorecen el interés y la participación del usuario durante una experiencia apoyada por tecnología.

El modelo ARCS aborda este componente mediante cuatro elementos: atención, relevancia, confianza y satisfacción [8]. Una aplicación reciente del modelo en educación superior utilizó estos componentes para analizar la motivación y el aprendizaje en experiencias con animación 3D, realidad virtual y simulación [9].

1.2. NECESIDAD DE UN ANÁLISIS COMPARATIVO

En conjunto, TRL, TAM, SUS y ARCS no evalúan el mismo fenómeno ni fueron desarrollados con un propósito común. Esta diferencia constituye precisamente el punto de partida de la comparación: TRL aporta información sobre madurez tecnológica; TAM, sobre aceptación; SUS, sobre usabilidad percibida; y ARCS, sobre aspectos motivacionales. Analizarlos desde criterios comunes permite reconocer no solo sus aportaciones individuales, sino también aquello que queda fuera del alcance de cada enfoque cuando se utiliza de manera aislada.

Por ello, el objetivo de este estudio es comparar los alcances, dimensiones, ventajas y limitaciones de TAM, SUS, TRL y ARCS en el contexto de las tecnologías emergentes, e identificar sus diferencias y posibles áreas de complementariedad. El análisis busca aportar criterios que faciliten una valoración más amplia de estas tecnologías y representar, mediante un esquema conceptual, la contribución específica de cada enfoque dentro del proceso de evaluación.

II. METODOLOGÍA

Se realizó un estudio documental con enfoque cualitativo y alcance descriptivo-comparativo, orientado al análisis de enfoques empleados para valorar diferentes aspectos relacionados con el desarrollo, uso y adopción de tecnologías. El procedimiento se organizó en tres etapas: selección y caracterización de los enfoques, definición de criterios comunes de comparación y análisis de sus diferencias y posibles áreas de complementariedad.

2.1. SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS ENFOQUES

Se seleccionaron el Technology Acceptance Model (TAM), la System Usability Scale (SUS), los Technology Readiness Levels (TRL) y el modelo motivacional ARCS. La selección consideró que cada enfoque aborda un componente diferente relacionado con la evaluación tecnológica: aceptación, usabilidad, madurez tecnológica y motivación, respectivamente. Esta diversidad permitió analizar el fenómeno desde perspectivas centradas tanto en las características de la tecnología como en la respuesta de sus usuarios.

Para caracterizar cada enfoque, se consultaron las publicaciones originales en las que fueron propuestos, así como estudios relacionados con su desarrollo, aplicación y uso frente a tecnologías emergentes. Asimismo, se incorporaron trabajos recientes que permitieran contrastar los planteamientos originales con aplicaciones y discusiones actuales. La información recuperada se utilizó como sustento para identificar el propósito, los componentes y el alcance de cada enfoque.

2.2. CRITERIOS DE COMPARACIÓN

La comparación se realizó mediante cinco criterios comunes: propósito de evaluación, dimensiones o componentes, ventajas, limitaciones y utilidad frente a tecnologías emergentes. Estos criterios se aplicaron de manera equivalente a TAM, SUS, TRL y ARCS con el fin de identificar qué aspecto de la evaluación aborda cada uno de los enfoques, qué información proporciona y cuáles son sus principales restricciones cuando se utiliza de forma independiente.

La información obtenida se organizó bajo una misma estructura para facilitar el análisis de los enfoques de acuerdo con los criterios establecidos.

2.3. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

A partir de la información recopilada, se realizó un análisis transversal de los cuatro enfoques. Primero se examinaron sus diferencias de acuerdo con los criterios establecidos y, posteriormente, se identificaron relaciones de complementariedad entre las dimensiones evaluadas. También se revisaron los aspectos que quedan fuera del alcance de un enfoque y que pueden ser considerados desde otro de los enfoques seleccionados.

Finalmente, las relaciones identificadas se organizaron en un esquema conceptual para representar la contribución de TAM, SUS, TRL y ARCS en la evaluación tecnológica. Para su elaboración se consideró el propósito principal de cada enfoque y las relaciones de complementariedad identificadas durante el análisis.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La comparación permitió identificar diferencias en el propósito, alcance y tipo de información que aporta cada enfoque. TAM, SUS, TRL y ARCS abordan distintos aspectos de la evaluación tecnológica y, por lo tanto, no pueden considerarse alternativas equivalentes. Mientras algunos se centran en las características o el grado de desarrollo de la tecnología, otros consideran la percepción y respuesta de los usuarios. Estas diferencias permiten analizar qué aporta cada enfoque y qué aspectos quedan fuera de su alcance cuando se utiliza de manera individual.

3.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COMPARATIVO

La [Tabla 1](#) presenta los resultados de la comparación de acuerdo con los cinco criterios establecidos: propósito de evaluación, dimensiones o componentes, ventajas, limitaciones y utilidad frente a tecnologías emergentes.

TABLA 1
COMPARACIÓN DE LOS ENFOQUES TAM, SUS, TRL Y ARCS

ENFOQUE	PROPÓSITO DE EVALUACIÓN	DIMENSIONES O COMPONENTES	VENTAJAS	LIMITACIONES	UTILIDAD FRENTE A TECNOLOGÍAS EMERGENTES
TAM [4] , [5]	Analizar la aceptación y la intención de uso de una tecnología.	Utilidad percibida y facilidad de uso percibida.	Permite identificar factores asociados con la disposición del usuario para utilizar una tecnología.	En su formulación básica no incorpora de manera amplia factores contextuales, sociales o afectivos.	Permite explorar la aceptación de tecnologías nuevas desde las primeras experiencias de los usuarios.

TABLA 1 (CONT.)
COMPARACIÓN DE LOS ENFOQUES TAM, SUS, TRL Y ARCS

ENFOQUE	PROPÓSITO DE EVALUACIÓN	DIMENSIONES O COMPONENTES	VENTAJAS	LIMITACIONES	UTILIDAD FRENTE A TECNOLOGÍAS EMERGENTES
SUS [6], [7]	Valorar la usabilidad percibida de un sistema o producto.	Diez ítems que generan una puntuación global de usabilidad.	Es breve, de aplicación sencilla y permite comparar la percepción de usabilidad entre sistemas.	Ofrece una valoración global y no explica por sí sola las causas de los problemas identificados.	Facilita una valoración rápida de la interacción del usuario con sistemas y soluciones tecnológicas emergentes.
TRL [1], [2], [3]	Determinar el nivel de madurez alcanzado por una tecnología.	Nueve niveles progresivos de madurez tecnológica.	Permite ubicar el desarrollo técnico y dar seguimiento a su avance.	La madurez técnica no permite determinar por sí misma la aceptación, usabilidad o respuesta del usuario.	Ayuda a establecer si una tecnología cuenta con un nivel de desarrollo suficiente para avanzar hacia pruebas o implementación.
ARCS [8], [9]	Analizar los factores motivacionales asociados con una experiencia de aprendizaje.	Atención, relevancia, confianza y satisfacción.	Incorpora una dimensión motivacional que no está considerada directamente en los otros enfoques.	Su origen educativo limita su aplicación directa a contextos en los que la motivación no constituye un componente relevante de la interacción.	Resulta especialmente útil cuando la tecnología se incorpora en procesos educativos o de formación.

La comparación muestra una primera diferencia entre los enfoques. TRL se centra en el grado de desarrollo de la tecnología [1], mientras que TAM, SUS y ARCS consideran aspectos relacionados con los usuarios [4], [6], [8]. Esta diferencia es importante porque una tecnología puede alcanzar un nivel alto de madurez sin que esto garantice su aceptación o adopción. Östlund *et al.* observaron esta diferencia al analizar tecnologías robóticas aplicadas al ámbito de la salud, donde la madurez tecnológica y el potencial de adopción no necesariamente avanzaron de la misma manera [2]. Esto coincide con planteamientos recientes que proponen complementar TRL con otros criterios cuando se requiere una valoración más amplia de tecnologías emergentes [3].

También existen diferencias entre TAM y SUS, aunque ambos consideran la perspectiva del usuario. TAM permite analizar la aceptación de una tecnología a partir de su utilidad y facilidad de uso percibidas [4]. Posteriormente, el modelo fue ampliado para incorporar otros factores relacionados con la aceptación y la intención de uso [10]. Por su parte, SUS se enfoca en la usabilidad percibida [6].

Por ello, considerar una tecnología útil no significa necesariamente que la experiencia al utilizarla sea favo-

orable. Estudios recientes muestran que TAM continúa utilizándose para analizar la aceptación de tecnologías actuales en educación médica [5], mientras que SUS cuenta con evidencia previa sobre su aplicación e interpretación [11] y con evaluaciones recientes que continúan respaldando sus propiedades psicométricas [7].

ARCS aporta un aspecto diferente al análisis, ya que se enfoca en la motivación durante una experiencia de aprendizaje [8], [12]. Esto hace que su aplicación sea especialmente útil en contextos educativos o de formación. Su uso con realidad virtual, animación 3D y simulación muestra que sus componentes pueden emplearse para analizar la motivación ante tecnologías actuales [9]. Sin embargo, esta característica también delimita su alcance, ya que la motivación no necesariamente tiene la misma importancia en todos los contextos de aplicación tecnológica.

3.2. COMPLEMENTARIEDAD DE LOS ENFOQUES

La comparación muestra que la complementariedad entre los cuatro enfoques se debe a que cada uno analiza un aspecto diferente de la evaluación tecnológica. TRL permite conocer el grado de desarrollo de una tecnología [1], mientras que TAM considera su aceptación por parte de

los usuarios [4]. SUS aporta información sobre la usabilidad percibida [6] y ARCS incorpora la motivación cuando la tecnología se utiliza en un contexto de aprendizaje [8]. La ampliación del TAM propuesta por Venkatesh y Davis también muestra que la aceptación puede estar influida por factores adicionales a los considerados en su formulación inicial [10]. De manera similar, Sauser *et al.* propusieron el concepto de System Readiness Level (SRL), que amplía la valoración de la madurez al considerar tanto los TRL individuales como la integración entre las tecnologías que forman parte de un sistema [13]. Por esta razón, utilizar más de un enfoque puede ampliar la información disponible para valorar una tecnología, sin que esto implique que uno sustituya a otro.

Esta complementariedad también permite considerar diferentes preguntas durante la evaluación. Una tecnología puede contar con un nivel adecuado de madurez, pero presentar dificultades de uso o una baja aceptación. De la misma manera, una tecnología percibida como útil y fácil de usar puede no generar el interés o la motivación esperados cuando se incorpora a una experiencia educativa. Por ello, los resultados obtenidos mediante un enfoque deben interpretarse de acuerdo con la dimensión que evalúa y no como una valoración general de la tecnología.

A partir de estas relaciones se elaboró el esquema conceptual presentado en la [Figura 1](#), que organiza los cuatro enfoques de acuerdo con su principal contribución a la evaluación tecnológica y permite visualizar las dimensiones consideradas y los puntos en los que la información obtenida mediante un enfoque puede complementarse con la aportada por otro para apoyar decisiones relacionadas con la adopción de la tecnología.

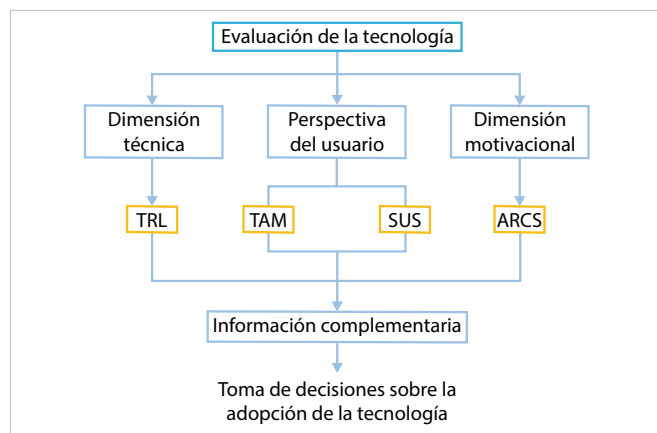


Figura 1. Complementariedad de los enfoques analizados en la evaluación tecnológica.

La elección del enfoque depende de lo que se necesite conocer sobre la tecnología. TRL permite establecer su grado de desarrollo técnico [1], [2], [3], mientras que TAM se orienta al análisis de la aceptación por parte de los usuarios [4], [5]. Cuando el interés se centra en la experiencia de uso, SUS permite valorar la usabilidad percibida [6], [7]. En el ámbito educativo, ARCS añade el componente motivacional a través de la atención, relevancia, confianza y satisfacción [8], [9].

Esto no significa que los cuatro enfoques deban utilizarse en todos los casos. La elección puede hacerse de acuerdo con el propósito de la evaluación y con la información que se necesita para tomar una decisión. Así, más que proponer el uso conjunto de TAM, SUS, TRL y ARCS, el análisis permite reconocer qué puede aportar cada uno y en qué situaciones puede ser útil complementar la evaluación con otro enfoque.

En las tecnologías emergentes, el contexto también debe considerarse al momento de definir qué aspectos se van a evaluar. Estudios sobre tecnologías inteligentes muestran que su adopción no depende únicamente de sus características técnicas, sino también de factores relacionados con los usuarios y las organizaciones [14]. De manera similar, el análisis de tecnologías emergentes en distintos procesos muestra que las condiciones en las que se integran pueden influir en sus resultados y en la forma en que son utilizadas [15].

IV. CONCLUSIONES

El análisis comparativo permitió reconocer que TAM, SUS, TRL y ARCS aportan información diferente al evaluar una tecnología. Esto muestra que recurrir a un solo enfoque puede dejar fuera aspectos importantes, sobre todo cuando se requiere considerar el desarrollo técnico y la experiencia de quienes utilizarán la tecnología.

La madurez tecnológica no garantiza por sí misma que una tecnología será aceptada o fácil de utilizar. De igual forma, una valoración favorable de los usuarios no permite conocer su grado de desarrollo técnico. En el ámbito educativo, además, la motivación puede ser un elemento relevante para comprender la experiencia de uso. Estas diferencias explican el valor de considerar más de una perspectiva durante la evaluación.

Esto no significa que los cuatro enfoques deban aplicarse de manera conjunta. Su elección dependerá de lo que

se necesite evaluar, de las características de la tecnología y del contexto en el que se pretende utilizar. El esquema conceptual propuesto resume estas relaciones y permite reconocer qué información puede aportar cada enfoque para apoyar decisiones sobre la adopción tecnológica.

Como siguiente paso, será necesario aplicar este esquema en contextos específicos y con diferentes tipos de tecnologías emergentes. Esto permitirá valorar su utilidad en situaciones reales de evaluación e identificar los ajustes que puedan requerirse, según el contexto de aplicación.

REFERENCIAS

- [1] J. C. Mankins, "Technology readiness levels: A white paper", NASA, 1995.
- [2] B. Östlund et al., "Interactive robots for health in Europe: Technology readiness and adoption potential", *Front. Public Health*, vol. 11, art. 979225, 2023, doi: [10.3389/fpubh.2023.979225](https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.979225).
- [3] B. D. Trump, J. Trump, D. Antunes, J. Palma-Oliveira y J. Keisler, "Fusing technology readiness levels (TRLs) and safe-by-design (SbB) for guiding investment in emerging technologies", *Environ. Syst. Decis.*, vol. 45, art. 45, 2025, doi: [10.1007/s10669-025-10027-0](https://doi.org/10.1007/s10669-025-10027-0).
- [4] F. D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology", *MIS Q.*, vol. 13, n.º 3, pp. 319-340, sept. 1989, doi: [10.2307/249008](https://doi.org/10.2307/249008).
- [5] J. W. Y. Lee, J. Y. Tan y F. Bello, "Technology Acceptance Model in medical education: Systematic review", *JMIR Med. Educ.*, vol. 11, art. e67873, 2025, doi: [10.2196/67873](https://doi.org/10.2196/67873).
- [6] J. Brooke, "SUS: A 'quick and dirty' usability scale", en *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. Weerdmeester y I. L. McClelland, eds. Londres: Taylor & Francis, 1996, pp. 189-194.
- [7] H. Åvik Persson, C. Castor, N. Andersson y M. Hylén, "Swedish version of the System Usability Scale: Translation, adaption, and psychometric evaluation", *JMIR Hum. Factors*, vol. 12, art. e64210, 2025, doi: [10.2196/64210](https://doi.org/10.2196/64210).
- [8] J. M. Keller, "Development and use of the ARCS model of instructional design", *J. Instr. Dev.*, vol. 10, n.º 3, pp. 2-10, 1987, doi: [10.1007/BF02905780](https://doi.org/10.1007/BF02905780).
- [9] A. Kumar et al., "Gamified learning and assessment using ARCS with next-generation AIO MT integrated 3D animation and virtual reality simulation", *Electronics*, vol. 12, n.º 4, Art. n.º 835, 2023, doi: [10.3390/electronics12040835](https://doi.org/10.3390/electronics12040835).
- [10] V. Venkatesh y F. D. Davis, "A theoretical extension of the Technology Acceptance Model: Four longitudinal field studies", *Manage. Sci.*, vol. 46, n.º 2, pp. 186-204, 2000, doi: [10.1287/mnsc.46.2.186.11926](https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926).
- [11] A. Bangor, P. T. Kortum y J. T. Miller, "An empirical evaluation of the System Usability Scale", *Int. J. Hum.-Comput. Interact.*, vol. 24, n.º 6, pp. 574-594, 2008, doi: [10.1080/10447310802205776](https://doi.org/10.1080/10447310802205776).
- [12] J. M. Keller, *Motivational Design for Learning and Performance: The ARCS Model Approach*. Nueva York, NY, EUA: Springer, 2010, doi: [10.1007/978-1-4419-1250-3](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1250-3).
- [13] B. Sauser, D. Verma, J. Ramirez-Marquez y R. Gove, "From TRL to SRL: The concept of systems readiness levels", presentado en Conf. Syst. Eng. Res. (CSER), Los Angeles, CA, EUA, abr. 7-8, 2006, art. 126.
- [14] S. K. Sharma et al., "Unlocking the potential of smart technologies: Addressing adoption challenges", *Inf. Syst. Front.*, vol. 25, n.º 4, pp. 1293-1298, 2023, doi: [10.1007/s10796-023-10408-3](https://doi.org/10.1007/s10796-023-10408-3).
- [15] M. M. Queiroz y S. Fosso, "A structured literature review on the interplay between emerging technologies and COVID-19—Insights and directions to operations fields", *Ann. Oper. Res.*, vol. 335, n.º 3, pp. 937-963, 2024, doi: [10.1007/s10479-021-04107-y](https://doi.org/10.1007/s10479-021-04107-y).