



Revista mexicana de investigación educativa

ISSN: 1405-6666

ISSN: 2594-2271

Consejo Mexicano de Investigación Educativa A.C.

Plaza-Gálvez, Luis; Hinojos, Jesús; Torres-Corrales, Diana
Estrategias heurísticas y didácticas para resolver problemas en ingeniería
Revista mexicana de investigación educativa, vol. 29, núm. 101, 2024, Abril-Junio, pp. 257-277
Consejo Mexicano de Investigación Educativa A.C.

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14078583005>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

 redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

ESTRATEGIAS HEURÍSTICAS Y DIDÁCTICAS PARA RESOLVER PROBLEMAS EN INGENIERÍA

LUIS PLAZA-GÁLVEZ / JESÚS HINOJOS / DIANA TORRES-CORRALES

Resumen:

Este trabajo desarrolla una guía para la resolución de problemas en ingeniería con un enfoque matemático, basado en el uso de estrategias creativas, heurísticas y de razonamiento. La investigación se divide en dos momentos: la revisión de la literatura y la configuración de una guía para problemas de ingeniería de solución abierta o cerrada. Esta guía combina el método ingenieril con componentes algorítmicos y heurísticos-creativos en tres fases: *a)* comprensión, abordaje y caracterización del problema, *b)* planeación, ataque y decisión de la mejor alternativa y *c)* solución, revisión y evaluación del problema. Se concluye que esta guía permitirá que los futuros ingenieros lleguen a una solución de un problema considerando las implicaciones que tendría en lo financiero, técnico, ambiental, entre otros ámbitos.

Abstract:

This paper aims to design a guide for engineering problem solving with a mathematical approach, based on the use of creative, heuristic and reasoning strategies. The research is divided in two phases: the literature review and the conception of a guide for engineering problems with an open or closed solution. This guide combines the engineering method with algorithmic and heuristic-creative components in three steps: *a)* understanding, approaching and characterising the problem; *b)* planning, tackling and deciding on the best alternative; and *c)* solving, reviewing and evaluating the problem. The authors conclude that this guide will allow future engineers to reach a solution to a problem considering the implications in the financial, technical, environmental and other domains.

Palabras clave: ingeniería; solución de problemas; educación superior; creatividad; heurística.

Keywords: engineering; problem solving; higher education; creativity; heuristics.

Luis Plaza-Gálvez: profesor de la Unidad Central del Valle del Cauca, Facultad de Ingenierías. Tuluá, Valle del Cauca, Colombia. CE: lpiazza@uceva.edu.co / <https://orcid.org/0000-0002-8979-0410>

Jesús Hinojos: profesor del Instituto Tecnológico de Sonora, México, Departamento de Matemáticas. Ciudad Obregón, Sonora, México. CE: jesus.hinojos@itson.edu.mx / <https://orcid.org/0000-0003-3276-0322>

Diana Torres-Corrales: profesora del Instituto Tecnológico de Sonora, México, Departamento de Matemáticas. Ciudad Obregón, Sonora, México. CE: diana.torres@itson.edu.mx / <https://orcid.org/0000-0002-0057-5336>

Introducción

La resolución de problemas como competencia genérica es vista como una destreza cognitiva esencial de alto nivel, indispensable para las y los graduados¹ de cualquier programa de estudios superiores que ingresan al campo laboral (Kashefi, Ismail y Yusof, 2012), donde se desarrolla principalmente la conceptualización y ejecución de soluciones a problemas complejos en aspectos cualitativos y cuantitativos. Dichas soluciones en campos de estudio de alta consecuencia, como la ingeniería, requieren de un análisis rápido y preciso, el diseño de resultados (centrándose en la seguridad pública, la gestión ambiental y la ética), la ejecución y el monitoreo de dichos resultados.

Los problemas en el ejercicio de la ingeniería son de naturaleza y origen distinto a los planteados en los libros de texto, lo que implica que se requieren de métodos y estrategias específicas para cada tipo de problema en particular. Por ello, es necesario desarrollar y reflexionar algunas estrategias que permitan a los futuros ingenieros adoptar destrezas y habilidades en los procesos de resolución de problemas en ingeniería (RPI) frente a la cuarta revolución industrial y las exigencias de un mercado laboral cambiante.

En el último siglo, los estudios sobre la resolución de problemas parten de las contribuciones hechas por Pólya (2011), quien diseñó cuatro etapas para resolver un problema de cualquier naturaleza: *a)* entender el problema, *b)* intuir un plan, *c)* ponerlo en marcha y *d)* examinar y verificar la solución obtenida. Es significativo que los problemas en ingeniería pueden ser de solución abierta (necesitando un pensamiento divergente dadas las distintas soluciones posibles) o cerrada (requiriendo un pensamiento convergente dada una única solución) (De Bono, 1990). Esto es coherente con la realidad de los problemas del ámbito laboral donde no siempre se cuenta con todos los datos requeridos o se pueden presentar con diversos enfoques de solución que dependen de la naturaleza del problema (contexto); a diferencia de los problemas escolares, donde siempre existe una única solución, aunque hay trabajos como el de Bravo, Montero, Juárez y Solari (2021), en el que exponen estrategias didácticas para problemas similares a los encontrados en la vida real.

Es así como el presente artículo tiene por objetivo desarrollar una guía para la RPI con un enfoque matemático y de estrategias de creatividad, heurística y razonamiento con base en un análisis descriptivo de los aportes de la revisión de la literatura y la reflexión de docentes e investigadores

en el área; no se pretende presentarla como una única estrategia para la resolución de problemas, pero sí brindar un entorno que contribuya con una solución coherente con el contexto del problema que se resuelva ya que, dada la variabilidad de los diseños, procesos y procedimientos de ingeniería, es complejo establecer un modelo concluyente o una lista de pasos que se ajuste a todos los problemas.

Metodología

El diseño metodológico implica dos escenarios: en el primero se realiza una revisión de literatura y en el segundo se compila la experiencia del ejercicio docente (del primer autor de este artículo), que parte de dicha revisión. El estudio como tal es de carácter documental, descriptivo y de corte cualitativo.

En coherencia con lo planteado, en el primer escenario se incluyeron publicaciones de artículos científicos, libros considerados clásicos y memorias de conferencias en eventos académicos. La búsqueda se realizó en Google académico con las palabras clave: resolución, problemas, ingeniería, fases, métodos, usando el operador booleano AND. Esta fase se llevó a cabo en agosto de 2022, tomando como delimitación temporal el periodo comprendido entre 1987 y 2022. Se encontraron 48 documentos, los cuales fueron seleccionados por su enfoque, el criterio de evaluación por pares académicos y su especial énfasis en metodologías e instrumentos de la RPI.

La organización de la información se hizo por tipo de fuente (tabla 1), por idioma (tabla 2) y por distribución en tiempo (tabla 3).

TABLA 1

Distribución de fuentes

Tipo de documento	Cantidad	%
Artículo científico	29	60.4
Libro especializado	13	27.1
Conferencia	6	12.5
Total	48	100.0

Fuente: elaboración propia.

TABLA 2

Idioma de publicación

Idioma	Cantidad	%
Español	33	68.8
Inglés	14	29.2
Catalán	1	2.0
Total	48	100.0

Fuente: elaboración propia.

TABLA 3

Distribución en el tiempo

Intervalo de publicación	Cantidad	%
1987-1998	6	12.5
1999-2010	10	20.8
2011-2022	32	66.7
Total	48	100.0

Fuente: elaboración propia.

En el segundo escenario se tomó como referencia el ejercicio profesional docente, los diálogos sostenidos con expertos en las diferentes especialidades de la ingeniería y con docentes afines al área. Posteriormente se realizó un análisis descriptivo para llegar a una guía de RPI; estos diálogos hicieron parte de encuentros académicos donde participa de manera asidua, desde 2014, el grupo de investigación latinoamericano Formación de Ingenieros desde la Matemática Educativa (grupo FIME, <https://grupofimelatino.org/>); entre este tipo de reuniones se encuentran, seminarios en línea y

grupos de discusión en la Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa (RELME), así como la Escuela de Invierno en Matemática Educativa (EIME) (Arcos, Cajas, Rodríguez-Gallegos, Plaza *et al.*, 2022).

Resultados

La información obtenida se organizó de tal manera que se reconocen los aportes hechos desde la heurística y el enfoque en la RPI, incluyendo las habilidades en la modalidad ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM, por sus siglas en inglés) y enmarcados en la cuarta revolución industrial como contexto actual de la ingeniería. Finalmente se presenta una guía para la RPI, que se compone de un enfoque estructural que inicia con los aportes heurísticos de Pólya (2011) y los aportados desde una perspectiva matemática (Mason, Burton y Stacey, 2013) y, por último, un componente creativo e innovador (De Bono, 1990). Los tres enfoques contribuyen en el análisis, en los que se aplican varias propuestas teóricas para ingeniería encontradas en la revisión de literatura y que enriquecen el estudio, las cuales implican, entre otros: razonamientos lógico, inductivo, deductivo, argumentativo e interpretativo, y el uso de pensamiento abstracto.

Estrategias heurísticas en ingeniería

En ingeniería, la heurística es vista como un método que se basa en las prácticas y destrezas, las cuales pueden ser usadas para contribuir a la solución de problemas de toda clase: desde obtener el recurso técnico y humano necesario hasta organizar los requerimientos para poner en marcha un sistema. Schoenfeld (1992) afirma que la heurística o estrategias heurísticas son una serie de reglas usadas en pro del éxito en la resolución de problemas, que ayudan a comprender mejor el problema o hacer progresos hacia su solución.

Las heurísticas empleadas cuando se resuelven problemas se dirigen hacia las acciones mentales empleadas por el alumnado al reflexionar sobre la información que se presenta, con el objeto de plantear metas y proponer una solución innovadora y eficiente, que además permita progresar en situaciones complicadas.

Por lo anterior, es importante que se cuente con una metodología científica que incluya los planteamientos cualitativo y cuantitativo, el análisis de variables y el establecimiento de hipótesis, usando significativamente las leyes y los conceptos que se estudian en la ingeniería. Al resolver un

problema, bajo la figura de la heurística, se debe enfatizar en ciertos indicadores, como: determinar los nexos y las relaciones que puedan encontrarse, hacer cambios en los estados inicial o de frontera, establecer casos extremos respecto del contexto e inspeccionar distintas opciones para su solución; además de no descartar la obtención de algún patrón, la deducción o inducción, así como la analogía, como lo exponen Díaz y Díaz (2018).

Algunas investigaciones donde se han resuelto problemas ingenieriles en la industria aplicando enfoques heurísticos en escenarios del tipo comercial y operativo, son la de López-Jiménez y Vergara (2017), donde además de buscar el origen del problema en cuestión, proponen soluciones del tipo estratégico, observando el proceso bajo la óptica de investigación-acción o el estudio de Rossit, Toncovich, Rossit y Nesmachnow (2021a), que usan estrategias heurísticas en la RPI en un entorno de industria 4.0, de tal manera que se mejora el servicio al cliente a través de optimizar los tiempos de respuesta al analizar la ruta crítica, por medio de una formulación matemática con apoyo en algoritmos de tipo genético.

Solución de problemas

Cuando se resuelve un problema de ingeniería se desea encontrar los datos necesarios para responder una pregunta, superar un obstáculo, satisfacer una inquietud o construir un procedimiento, partiendo de una transformación o cambio; generalmente, usando un lenguaje de signos y símbolos en el que la matemática desempeña un papel importante, aplicando teorías, modelos o sus combinaciones que permitan encontrar las respuestas en cuestión, además del desarrollo de las destrezas para razonar de una manera lógica y estructurada.

La naturaleza de los problemas que deben ser resueltos varía entre las diferentes ramas de la ingeniería; por lo cual no basta con enseñar contenidos, rutinas (operaciones o algoritmos) y diagnósticos (la elección del procedimiento “correcto”), sino que es necesario reforzar lo concerniente al desarrollo de estrategias que permitan generar alternativas, así como la interpretación y descripción de los problemas en ingeniería. La RPI implica diseñar, pensar, construir, estructurar y planificar un módulo, un sistema, una herramienta, una estructura o un procedimiento que represente un beneficio para la sociedad o para una organización.

Algunos investigadores como Paz (2012), toman la RPI como instrumento didáctico y de formación en ingeniería; evidencian que el estudiantado de-

sarrolla de manera más robusta los componentes conceptuales al enfrentarse a dichos problemas, a través de la valoración de los procesos cognitivos. En este tipo de enfoque es donde surge el aprendizaje basado en problemas, tal como lo exponen Morales y Landa (2004); Fernández y Duarte (2013) y Rodríguez-Mesa, Kolmos y Guerra (2017), o como exigencia del enfoque por competencias bajo la figura del aprendizaje colaborativo sobre un problema en contexto de ingeniería (Ruiz-Meza, Castellanos-Adarme, Alzate-Ortiz y Flórez-Gutiérrez, 2021). Por otra parte, algunos estudios revelan que el componente curricular de los programas de ingeniería en Iberoamérica debería permitir que los futuros profesionales adquieran las competencias mínimas para enfrentarse a los problemas abiertos que el mundo laboral les impondrá, tal como se expone en Vargas y Salazar (2019).

Además, en la última década han tomado suma importancia los procesos de enseñanza, especialmente cuando se aplican en contextos de ingeniería con habilidades y destrezas en STEM, como lo exponen Sudarsono, Kartono, Mulyono y Mariani (2022).

La ingeniería en la industria 4.0

Los sistemas de producción han sufrido cambios estructurales, debido a la participación tecnológica de los sistemas ciberfísicos (CPS, de su acrónimo en inglés), buscando procesos más eficientes a costos más competitivos, y es un espacio para la inteligencia artificial (Rossit, Toncovich, Rossit y Nesmachnow, 2021b). Atendiendo los objetivos del milenio, la ingeniería busca brindar soluciones a un mundo sostenible; para ello, se utiliza la denominada ingeniería sostenible, que se enfoca en los países en vía de desarrollo, a través de una educación coordinada entre la industria y la universidad como lo recomiendan Achebe, Ozor y Sukdeo (2022).

La cuarta revolución industrial radica fundamentalmente en la digitalización de la cadena de valor en la industria y el intercambio de datos a lo largo del proceso. Este nuevo concepto involucra la compilación masiva de datos, comunicación y almacenamiento de esta información para su análisis futuro. La tecnología y los dispositivos interconectados permiten a los profesionales de la ingeniería monitorear sus procesos y procedimientos en tiempo real. Sin embargo, son muchos los ingenieros que en lugar de aprovechar las ventajas que ofrece esta disponibilidad de información, se sienten abrumados debido a las transformaciones por las que está pasando la industria en la actualidad.

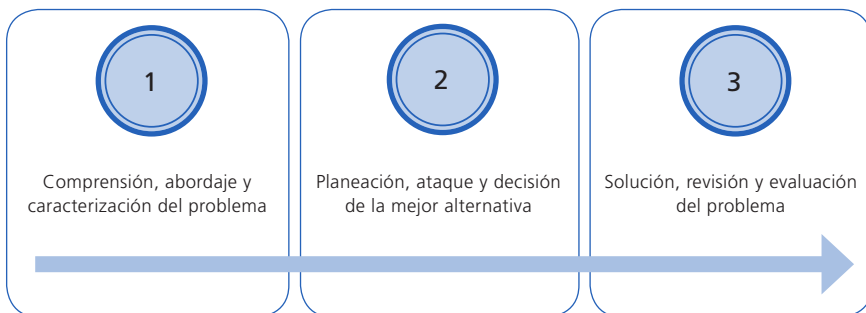
El concepto de industria 4.0 debe ser parte tanto del currículo como del diseño y así acercar al estudiante de ingeniería a la práctica (Garcés y Peña, 2020). Aunado a lo anterior, se hace patente la necesidad de desarrollar competencias específicas (vistas como herramientas) basadas en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como macrodatos (*big data*), computación en la nube (*cloud computing*), internet de las cosas (IOT) y simulación, con el propósito de interactuar con los ambientes inteligentes que propone la industria 4.0, según lo recomiendan González-Hernández y Granillo-Macías (2020).

Fases recomendadas para resolver de forma ideal un problema de ingeniería

Después de analizar los documentos encontrados en la revisión de la literatura, con algunos enfoques y metodologías teóricas distintas y los aportes propios, se llega a proponer una estrategia didáctica, formada por tres fases (figura 1), que contribuirá con la RPI. Por ello es fundamental plantearse las siguientes inquietudes: ¿qué tengo?, ¿qué me dan?, ¿qué me piden?, ¿qué necesito?, las cuales contribuirán con el rastreo de las soluciones a la situación-problema planteada. Por lo anterior, se requiere que el ingeniero adquiera las habilidades y competencias indispensables para enfrentarse a la RPI. Esta guía es una combinación de componentes algorítmicos y heurísticos-creativos, dotado de habilidades metacognitivas, inmersos en el método ingenieril. En las siguientes secciones se describen las tres fases.

FIGURA 1

Fases para la RPI



Fuente: construido con base en De Bono, 1990; Pólya, 2011 y Kashéfi, Ismail y Yusof, 2012.

Comprensión, abordaje y caracterización del problema

Esta fase se centra en el proceder de la solución de un problema, donde de entrada se debe tener una posición de total motivación y autoconfianza, de tal modo que se contribuya con el éxito buscado. En la definición del problema (Rugarcía y Delgado, 1987; Guevara, 1998), después de una lectura exhaustiva para su buena comprensión, se identifican los objetivos (explícitamente formulados), las variables (conocidas y desconocidas), las constantes, los parámetros, los criterios y las restricciones (de tiempo, económico, recurso físico y humano), donde se debe tener claro el marco de referencia (leyes, principios, estándares y regulaciones, limitaciones económicas o de recursos, presiones políticas y sociales) y, como lo menciona Sharp (1991), constituir los requisitos y necesidades (tecnológicas o de recurso humano) para después identificar todos los datos inevitables para tratarlos y establecer las funciones que participan. Se debe delimitar el problema de forma tal que se reconozca dónde se forma, dónde y cómo sucede, cómo sucede y a qué fenómenos, procesos o a quiénes atañe (Fustier, 2000).

Se deben analizar los datos suministrados usando los diferentes métodos según sea el caso, para luego explorar el problema, identificar sus partes y así categorizarlas y codificarlas (Jóver, 2003; Sobek y Jain, 2004). El problema se debe especificar en términos precisos y no tener limitaciones redundantes. Es de notar que si se ponen demasiados requisitos o restricciones sobre el problema, puede que su resultado sea en extremo complicado o inadmisibles (Wright, 2015). Se debe observar que el problema no esté sub o sobredimensionado (Guevara, 1998). Si hay presencia de personas, en el fenómeno o situación a resolver, todas deben ser identificadas, detalladas y caracterizadas.

Es trascendental, además, indagar en la información complementaria al problema, teniendo en cuenta algunos criterios de búsqueda que estructuren una revisión sistemática en la red y se logre encontrar situaciones similares y cómo han sido abordadas. Explorar en manuales técnicos, catálogos de fabricantes, artículos de revistas o tutoriales si la situación lo admite –como es en el caso de maquinaria y equipos– y, de la misma manera, revisar los protocolos de fenómenos y procesos conexos o parecidos que permitan contribuir en la búsqueda de solución.

El ingeniero debe recopilar toda la información que sea necesaria e identificarla y de esta debe saber qué y cuánta es realmente necesaria (Sharp, 1991; Deiana, Granados y Sardella, 2018). Toda la información que sea

suministrada y encontrada debe ser evaluada, cuestionada, fundamentada y procesada de manera lógica, actuando bajo un pensamiento crítico y creativo. Lo anterior se hace necesario, pues se llegará al escenario de detectar datos escasos, redundantes o incoherentes (Paz, 2010).

En la descripción del problema se deben analizar cuatro dimensiones: identidad (lo que se trata de explicar), ubicación (donde se observa), tiempo (cuando ocurre) y magnitud (que tan grave o extenso es). De la misma manera, es indispensable evaluar sus posibles causas (Kepner y Tregoe, 2013). Si es necesario, se debe dialogar con las personas que tengan experiencias similares con el problema bajo estudio (expertas) y así tomar decisiones al respecto que permitan seguir recopilando información (Rugarcía y Delgado, 1987; Kashefi, Ismail y Yusof, 2012).

Además, mediante un diagnóstico, se deben mostrar las relaciones y proporciones entre los diferentes elementos que puedan interactuar entre la incógnita y todos los datos e información antes identificados, usando signos y símbolos si es necesario, así como las leyes físicas, teorías, modelos, donde se puedan determinar: la zona de influencia del problema, el tópicus en el que este radica y el argumento expresado en lenguaje matemático (Silveira, 2007), usando una serie de competencias específicas del tipo metacognitivo. El ingeniero debe tener la capacidad de expresar la pregunta o el problema en un lenguaje físico-matemático con un modelo, un gráfico, un esquema, un diagrama de flujo, una tabla de valores, un diagrama de bloques o un mapa conceptual.

Luego de identificar el problema de ingeniería, es el momento donde se constituye la elaboración estructurada del sistema que lo rige (causas, entradas, salidas, variables). En este lapso se debe realizar un análisis del comportamiento histórico del fenómeno o proceso en estudio, el análisis de los datos relevantes, así como observar la tendencia o dinámica del mismo, actuando con lo que se denomina pensamiento sistémico, lo cual contribuye a la construcción de su solución (Liévano y Londoño, 2012). La información obtenida, después de ser evaluada, debe organizarse de manera jerárquica, utilizando el criterio de mayor a menor importancia, y en la que se deben considerar los pensamientos inductivo y deductivo. Esta información posteriormente debe ser sometida a un proceso de comparación y diferenciación (Gómez, 2015).

En esta fase, además, es donde incursiona la ética en la resolución de problemas de ingeniería, pues si la solución implica emitir un juicio,

este debe ser abordado con principios básicos de moralidad, honestidad, responsabilidad y otros valores, los que muchas veces pueden ser pasados por alto al enfrentarse a conflictos de intereses o ignorando algún código o norma lo cual reñiría con el ejercicio de un profesional íntegro que, al proceder con honestidad, le dé sentido recto al aplicar sus conocimientos (Sharp, 1991; Dyrud, 2010; Kirkman, 2017). Comprender el problema, por lo tanto, implica valorar y cuestionar tanto la información como la posible solución.

Finalmente, se debe recurrir al talento creador que permita relacionar, procesar, evidenciar y reproducir la información alcanzada desde otras fuentes de datos, para así llevar a cabo un análisis comparativo (Serna y Flórez, 2013). Si el ingeniero no logra comprender el problema planteado, no podrá comprender el proceso que debería realizar ni organizar o exponer una apropiada solución.

Planeación, ataque y decisión de la mejor solución del problema

En esta segunda fase, después de tener claro el problema, su identificación y su dimensionamiento, el ingeniero puede comenzar la búsqueda e inferencia de caminos de solución, para luego proceder a la planeación (segunda fase planteada en el modelo de Pólya) o al ataque, al retomar la expresión usada por Mason, Burton y Stacey (2013).

Cuando se ha identificado y caracterizado el problema, es necesario establecer patrones (si los hay), los cuales se presentan cuando hay problemas similares con actores y situaciones diferentes donde se repiten acciones y fenómenos en forma secuencial, que parten de la experiencia y han brindado soluciones efectivas. Adicionalmente, la solución al problema puede darse por analogía, al encontrarse con situaciones muy similares a otras conocidas más sencillas (algunos de sus objetos concuerdan con algunas relaciones parecidas al del interés) de donde se puede extraer la técnica de solución, su solución o ambas. Además, es importante descomponer el problema en partes más pequeñas, muchas de las cuales podrán ser rutinas (Guevara, 1998; Descartes, 1999) o, como lo dice Pólya (2011), descomponerlo en problemas más simples.

Después de lo anterior, y en el caso de encontrar análisis matemático, será necesario realizar suposiciones, especialmente si la solución al problema implica la implementación de un modelo matemático (López, Molina y Castro, 2017). En esta fase se buscan soluciones a fenómenos o procesos

que sean sustentables y que no deterioren el medio ambiente (Fernández y Duarte, 2013), recurriendo para esto a las diferentes heurísticas.

Para encontrar una solución ideal al problema de ingeniería planteado, coherente con la información y datos obtenidos, pueden considerarse alguna de las siguientes estrategias:

- Wright (2015) plantea una serie de estrategias creativas que pueden ser usadas para obtener la solución a un problema, luego de tenerlo identificado y contar con la información necesaria, estas consisten en:
 - Reunión creativa. Se reúnen seis o más personas que aportan ideas diseñadas para resolver un problema en particular.
 - Relaciones de información. Se anima a los interesados a averiguar distintas opciones de diseño.
 - Relaciones de atributos. Se enuncian todas las particularidades de cada idea, después se evalúan, enfatizando en las oportunidades de mejora que pueden realizarse.
 - Estrategia de la relación forzada. Se establece el vínculo entre dos o más conceptos que normalmente no tienen alguna relación.
 - Análisis morfológico. Se define el asunto en cuestión, en términos de sus magnitudes y se debe proyectar un prototipo que permita enfocar todos los posibles resultados.

- Gros (1990) propone herramientas que pueden surgir durante el proceso de resolución o de forma parcial en ciertos momentos del desarrollo, entre las que se encuentran:
 - El análisis de metas afines. Se construyen submetas y se soluciona el problema por etapas hasta llegar a un resultado completo.
 - La búsqueda hacia atrás o el problema inverso. Se hacen los procedimientos partiendo desde la posición final hacia la inicial.
 - Ensayo y error. Se buscan opciones de solución de forma casual y se analiza si funcionan, sobre los operadores legales, hasta que se logre la solución óptima.
 - Inferencias. A través de los datos se infiere lo más relevante, de forma que se usa el método inductivo para alcanzar la resolución del problema.
 - Simplificación. Parte de la eliminación de algunas de las variables hasta determinar las mínimas indispensables para la resolución.

- Teoría del desarrollo de la disertación de Teun Van Dijk y Walter Kintsch. Permite la solución de un problema por medio del modelado en la que participan estados cognitivos y metacognitivos (Gangoso, Truyol, Brincones y Gattoni, 2008).
- Sistemas cognitivos especializados (SCE). Por medio de matemática avanzada se pueden resolver problemas complejos en ingeniería, aplicando estrategias de Pólya (Toro-Carvajal, Ortiz-Álvarez y Jiménez-García, 2016).
- Teoría de la resolución de los problemas de la imaginación (TRIZ). Es una técnica constituida para obtener, priorizar y evaluar la información en la toma de decisiones (Barbera, Crespo, Viveros y Nikulin, 2013; Cano-Moreno, Arenas, Sánchez y Cabanellas, 2022).
- Lluvia de ideas. Cuando el problema ya está identificado, este puede ser descrito verbalmente. A partir de este momento, se busca construir una solución al problema en cuestión mediante una lluvia de ideas (Guevara, 1998; Kashefi, Ismail y Yusof, 2012).
- Razonamiento hipotético-deductivo. El ingeniero debe tener la capacidad de enunciar y desplegar una o varias hipótesis que expliquen el problema y luego determinar si alguna de ellas contribuye a su solución (Morales y Landa, 2004; Jiménez, Delfín, Ferrer, Acosta *et al.*, 2009).
- Metodología Kepner-Tregoe. Permite priorizar y valorar la información obtenida en la toma de decisiones. Establece una trazabilidad entre la determinación de la solución, sus inconvenientes y objetivos, con el fin de establecer la más conveniente (Kepner y Tregoe, 2013).
- Estrategia inteligente usada en resolución de problemas (ESIRP). Después de identificar el problema, se ponen en práctica las aptitudes y pericias para realizar operación y cálculos matemáticos, hasta que la solución se obtenga y sea expuesta en forma debida y correcta (Silveira, 2007).
- Método Delphi. Se fundamenta en la selección de un equipo de personas experimentadas que dan una opinión sobre el problema en cuestión. Sus estimaciones las realizan en sucesivas rondas anónimas hasta alcanzar un consenso y solución (Chih-Yang y Chou-Hai, 2016; Reguant-Álvarez y Torrado-Fonseca, 2016).
- Enfoque matemático con los factores de análisis según Schoenfeld. Recursos, heurísticas (vistos como herramienta de tipo cognitivo), control (visto como herramienta metacognitiva) y un sistema de creencias (Tolbert y Cardella, 2017; Schoenfeld, 1992).

Solución, revisión y evaluación del problema

Esta es la última fase y procede cuando se han identificado las posibles soluciones al problema; es importante aclarar su propósito y el hecho de que se deben evaluar todas y cada una de las alternativas de solución propuestas en la segunda fase desde diferentes perspectivas (solución estratégica), hacer un análisis de los riesgos e impactos (financieros, sociales, técnicos, políticos, ambientales, regulatorios, jurídicos), así como de los aportes cuantitativos y cualitativos para, finalmente, tomar las decisiones más adecuadas (Kashefi, Ismail y Yusof, 2012); emitir un juicio que más convenga a la sociedad u organización, partiendo del sentido común y la ética, para establecer una concordancia secuencial y trazabilidad entre la definición de una solución, sus problemas y sus objetivos (Kepner y Tregoe, 2013). Además, en la evaluación de la RPI, es importante considerar ciertos puntos de comparación a modo de indicadores como la relación, entre otras, costo-beneficio o la cantidad de seres vivos beneficiados.

Después del análisis anterior y encontrar la respuesta adecuada, esta debe: corresponder con la realidad del problema (condiciones); satisfacer las condiciones (iniciales y de frontera); ser efectiva antes las restricciones; pertenecer al dominio y espacio de interacción del sistema donde se encuentra inmerso el fenómeno o proceso (Silveira, 2007); ser interpretada, justificada y convalidada su autenticidad científica; ser objeto de análisis de todas las posibles consecuencias, tanto los pros como los contras, y obedecer a principios éticos básicos aparte de los técnicos.

Cuando se encuentra la solución ideal al problema planteado, esta debe ser socializada con el equipo de trabajo y comentar acerca de las experiencias y enseñanzas que dejó el proceso, las lecciones aprendidas y las oportunidades para trabajar de manera más eficiente en el futuro y tener la seguridad de que el resultado obtenido sea pertinente (Fustier, 2000; Wright, 2015).

Se debe dejar un registro histórico (informe) donde se exprese y explique lo que se hizo (estrategia seleccionada) empleando un lenguaje centrado en la ingeniería con los argumentos, mediante un desarrollo lógico y considerando el porqué de las decisiones tomadas por medio de un pensamiento crítico (por qué dicha solución y no otra) con los riesgos que estas decisiones implican (Warner, 2020) y una visión retrospectiva (retroalimentación) (Pólya, 2011). Este registro debe tomarse como referente ante otro tipo de problemas parecidos que se pudieran presentar y, si es

el caso, hacer una generalización (Mason, Burton y Stacey, 2013; López, Molina y Castro, 2017), y es esta etapa la que propicia la transferencia del conocimiento que se logra.

Discusión

Es importante reconocer que el proceso de la RPI implica siempre algún tipo de dificultad y esta puede ser relativa, ya que es necesaria una serie de conocimientos previos, habilidades y destrezas por parte de quien resuelve el problema para llegar a su objetivo; el camino al éxito involucra, por lo tanto, una competencia teórica sólida.

Los conocimientos previos tienen inmersa a la matemática, donde al estudiante de ingeniería se le pueden transferir los instrumentos con fundamentación lógica que le permitan adquirir los elementos de juicio necesarios, así como mejorar su capacidad de análisis para un problema a resolver. Ese lenguaje matemático parte de una metodología científica que debe incluir un análisis cualitativo y cuantitativo, las diferentes clases de variables y el planteamiento de hipótesis usando significativamente las leyes y los conceptos, lo que les permitirá obtener las competencias que se requieren para enfrentar los problemas del ámbito profesional.

Los efectos de esta investigación posibilitan demostrar que si existiera una clasificación de la ingeniería por especialidades afines (ejemplo de diseño, estructural, fuertes, etc.), sería ideal recomendar un método de RPI acorde con la naturaleza de dicha clasificación, pues los problemas de ingeniería son de naturaleza y contextos diferentes. Para ello, es primordial el fomento del pensamiento crítico en los estudiantes desde los primeros semestres de formación académica, de tal manera que adquieran las habilidades necesarias para la RPI (en las tres fases de solución antes propuestas). Esto es fundamental para la valoración de un argumento, de la información suministrada y de los resultados del problema en contexto desde todo punto de vista, atendiendo a los requerimientos de las acreditadoras internacionales como la iniciativa ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) o ante el perfil del futuro profesional de la ingeniería.

Conclusiones

La RPI es una competencia que ha sido abordada por diversos investigadores en educación en ingeniería, quienes en los últimos 12 años, princi-

palmente el 67% de las fuentes consultadas, se han centrado en plantear procesos y estrategias que mejoren con prontitud, eficacia y efectividad las soluciones a problemas. Del análisis de los diferentes estudios encontrados, se obtuvo que el modelo planteado por Pólya (fundamentado en la Heurística) es el más utilizado, lo cual se evidencia al leer a Mason, Burton y Stacey (2013) y Schoenfeld (1992), cuando proponen sus respectivas estrategias con fundamento analítico y pensamiento matemático con base en Pólya (2011).

Los aportes que hace De Bono (1990) respecto de la creatividad y la innovación son pilar fundamental para la RPI, pues casi siempre son implementados en diversos contextos y, de manera más marcada, cuando los problemas en el ejercicio de la ingeniería son de tipo abierto y analizados con un pensamiento divergente.

La guía propuesta en este artículo para la RPI difiere de los instrumentos del método ingenieril simple y de propuestas como la de Guevara (1998) o con la metodología recomendada por Wright (2015) ya que, además de ser relativamente más compacta, lleva inmersos los aportes de De Bono (1990), Pólya (2011) y Kashefi, Ismail y Yusof (2012), por lo que dispone de una fundamentación heurística, creativa e innovadora, sumada con el método ingenieril, lo cual origina tres fases (ver figura 1): *a*) comprensión, abordaje y caracterización del problema; *b*) planeación, ataque y decisión de la mejor alternativa y *c*) solución, revisión y evaluación del problema.

Estas tres fases del modelo permiten llegar a una solución en la que se consideran los impactos financieros, sociales, técnicos, políticos, regulatorios, jurídicos y ambientales tanto en las condiciones del problema como en su solución, actuando bajo un pensamiento crítico y con principios éticos. Dicha solución es una buena aproximación o procedimiento para seguir para la RPI e intentar llegar a la mejor opción, independientemente del tipo de ingeniería que se tenga, en coherencia con lo que el mercado y la industria exigen en el ejercicio profesional y en el marco de la cuarta revolución industrial.

La guía expuesta es una opción para ser aplicada en los cursos introductorios de ingeniería, enfocados en la resolución de problemas, ya que estimula una mejor actitud y disposición hacia el abordaje de futuros problemas y con ello poder enfrentar los diferentes obstáculos que se presenten. De esta manera, los problemas pueden ser vistos como retos

y no como amenazas, y su solución, en términos de tiempo y esfuerzo, como logros.

Además, con la tercera fase y la elaboración del reporte, se evidencian los criterios que fueron utilizados y que permitieron llegar a la solución, para que sirvan como una guía para resolver futuros problemas, los cuales pasarían a ser rutinas o tareas. Además, por medio de la creatividad y la RPI, el profesional de ingeniería puede enfrentarse a todos y cada uno de los cambios que el mundo impone de forma cada vez más acelerada, ya que, al llegar a una solución, descubre nuevas capacidades creativas y de ingenio, así como una serie de actitudes que tal vez no conocía, al organizar una serie de conceptos y conocimientos en forma estructurada. Por ello, la solución ideal a la que se pueda llegar debe ser estable, confiable, segura, durable y económica respecto de la relación costo-beneficio.

Nota

¹ En adelante, en este trabajo se empleará el masculino con el único objetivo de hacer más fluida la lectura, sin menoscabo de género.

Referencias

- Achebe, Celestine; Ozor, Paul y Sukdeo, Nita (2022). “Enhancing sustainable engineering education and practice in the developing countries through university-industry collaboration: A Nigeria perspective”, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Nsukka*, Nigeria: IEOM Society International. pp. 737-745. Disponible en: <https://ieomsociety.org/proceedings/2022nigeria/141.pdf> (consulta: 22 de octubre de 2022).
- Arcos, José; Cajas, Fernando; Rodríguez-Gallegos, Ruth; Plaza, Luis y Sánchez-Luján, Bertha (2022). “Formación de ingenieros y matemática educativa. La historia de un grupo latinoamericano de investigación”, *Feglinin-Revista oficial de la Federación Global de Profesiones*, vol. 1, núm. 22, pp. 44-50. <https://federacionglobal.com/FEGLININ/No22/sep2022/vol1/access.html>
- Barbera, Luis; Crespo, Adolfo; Viveros, Pablo y Nikulin, Christopher (2013). “Aplicación de métodos para la resolución de problemas en un caso industrial”, *Dyna*, vol. 88, núm. 4, pp. 370-374. Disponible en: <https://www.revistadyna.com/busqueda/aplicacion-de-metodos-para-resolucion-de-problemas-en-un-caso-industrial> (consulta: 22 de octubre de 2022).
- Bravo, Bettina; Montero, María; Juárez, Mabel y Solari, Jesús (2021). “Desarrollo de la competencia de resolución de problemas ingenieriles en clases de Física”, *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, vol. 16, núm. 2, pp. 1-17. Disponible en: <https://reiec.unicen.edu.ar/reiec/article/view/304> (consulta: 22 de octubre de 2022).
- Cano-Moreno, Juan; Arenas, José; Sánchez, Francisca y Cabanellas, José María (2022). “Using TRIZ10 for enhancing creativity in engineering design education”, *International Journal*

of *Technology and Design Education*, vol. 32, pp. 2749-2774. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09704-3>

- Chih-Yang, Chao y Chou-Hai, Huang (2016). “Construction of problem-solving indexes for technicians in industry-oriented higher technical education”, *World Transactions on Engineering and Technology Education*, vol. 14, núm. 2, pp. 301-307. Disponible en: [http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.14,%20No.2%20\(2016\)/11-Chao-CY.pdf](http://www.wiete.com.au/journals/WTE&TE/Pages/Vol.14,%20No.2%20(2016)/11-Chao-CY.pdf) (consulta: 18 de noviembre de 2022).
- De Bono, Edward (1990). “The virtues of zigzag thinking”, *Chemtech*, vol. 20, núm. 2, pp. 80-85.
- Deiana, Ana; Granados, Dolly y Sardella, María (2018). *Balance de masa. Introducción a la ingeniería. Departamento de Ingeniería Química*, Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Descartes, René (1999). *Discurso del método seguido de la búsqueda de la verdad mediante la luz natural (Diálogo)*, Bogotá: Panamericana Editorial.
- Díaz, Jorge y Díaz, Rafael (2018). “Los métodos de resolución de problemas y el desarrollo del pensamiento matemático”, *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, vol. 32, pp. núm. 60, pp. 57-74. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/bolema/a/r6wHhRqPGHkJgX7y8Jr46vF/abstract/?lang=es> (consulta: 18 de noviembre de 2022).
- Dyrud, Marilyn (2010). “Problem solving in engineering and ethics: Points of intersection”, ponencia presentada en la Conference for Industry and Education Collaboration American Society for Engineering Education, California, 3-5 de febrero. Disponible en: <https://docplayer.net/12679408-Problem-solving-in-engineering-and-ethics-points-of-intersection.html> (consulta: 07 de noviembre de 2022).
- Fernández, Flavio y Duarte, Julio (2013). “El aprendizaje basado en problemas como estrategia para el desarrollo de competencias específicas en estudiantes de ingeniería”, *Formación Universitaria*, vol. 6, núm. 5, pp. 29-38. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062013000500005>
- Fustier, Michel (2000). “Modulo 7. Resolución de problemas”, en *Competencias para la profesionalización de la gestión educativa: diez módulos destinados a los responsables de los procesos de transformación educativa*, Buenos Aires: Unesco-Instituto Internacional de Planeamiento para la Educación-Oficina para América Latina/Ministerio de Educación de la Nación. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000159155> (consulta: 17 de noviembre de 2022).
- Gangoso, Zulma; Truyol, María; Brincones, Isabel y Gattoni, Alberto (2008). “Resolución de problemas, comprensión, modelización y desempeño: un caso con estudiantes de ingeniería”, *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 2, núm. 3, pp. 233-240. Disponible en: <http://www.lajpe.org/new-site/preview6.php?idn=4> (consulta: 07 de noviembre de 2022).
- Garcés, Gonzalo y Peña, Camilo (2020). “Ajustar la educación en ingeniería a la industria 4.0: una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio”, *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, vol. 19, núm. 40, pp. 129-148. <https://doi.org/10.21703/rexe.20201940garcés7>
- Gómez, David (2015). *Resolución de problemas*, Ciudad de México: Limusa.
- González-Hernández, Isidro y Granillo-Macias, Rafael (2020). “Competencias del ingeniero industrial en la industria 4.0”, *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 22, e30, pp. 1-14. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e30.2750>

- Gros, Begoña (1990). “La enseñanza de estrategias de resolución de problemas mal estructurados”, *Revista de Educación*, núm. 293, pp. 415-433. Disponible en: <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/70269> (consulta: 07 de noviembre de 2022).
- Guevara, Edilberto (1998). “Método de solución de problemas y creatividad en la enseñanza de ingeniería”, *Revista Ingeniería UC*, vol. 5, núm. 1. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a5n1/5-1-5.pdf> (consulta: 03 de diciembre de 2022).
- Jiménez, Eusebio; Delfín, Juan; Ferrer, Luis; Acosta, Mario; García, Luis; Valenzuela, Jorge; Armenta, Javier y Lucero, Baldomero (2009). “Algunas consideraciones sobre el método de investigación hipotético-deductivo en la enseñanza de la ingeniería”, *Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica, pp. 503-512. Disponible en: http://somim.org.mx/memorias/memorias2009/pdfs/A2/A2_180.pdf (consulta: 04 de diciembre de 2022).
- Jóver, María (2003). “La resolución de problemas en la enseñanza de la ingeniería”, *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, vol. 4, núm. 6, pp. 81-86. Disponible en: <https://xdoc.mx/documents/la-resolucion-de-problemas-en-la-enseanza-de-la-ingenieria-5dfbdbf19ccf6> (consulta: 04 de diciembre de 2022).
- Kashefi, Hamidreza; Ismail, Zaleha y Yusof, Yudariah (2012). “Engineering mathematics obstacles and improvement: A comparative study of students and lecturers perspectives through creative problem solving”, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 56, pp. 556-564. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.688>
- Kepner, Charles y Tregoe, Benjamin (2013). *The new rational manager*, Princeton: Princeton Research Press.
- Kirkman, Robert (2017). “Problem-based learning in engineering ethics courses”, *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, vol. 11, núm. 1. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1610>
- Liévano, Federico y Londoño, Jesús (2012). “El pensamiento sistémico como herramienta metodológica para la resolución de problemas”, *Revista Soluciones de Postgrado*, vol. 4, núm. 8, pp. 43-65. Disponible en: <https://revistas.eia.edu.co/index.php/SDP/article/view/354> (consulta: 04 de diciembre de 2022).
- López, Rubí; Molina, Marta y Castro, Enrique (2017). “Modelización en el aula de ingeniería: un estudio de caso en el marco de un experimento de enseñanza”, *PNA. Revista de Investigación en Didáctica de la Matemática*, vol. 11, núm. 2, pp. 75-96. <https://doi.org/10.30827/pna.v11i2.6075> (consulta: 17 de noviembre de 2022).
- López-Jiménez, Daniel y Vergara, Patricio (2017). “El enfoque heurístico aplicado a la resolución de problemas en la empresa: entre el método y la estrategia”, *Razón y Palabra*, vol. 21, núm. 3_98, pp. 234-248. Disponible en: <https://www.revistarazonypalabra.org/index.php/ryp/article/view/1057> (consulta: 17 de noviembre de 2022).
- Mason, John; Burton, Leone y Stacey, Kate (2013). *Cómo razonar matemáticamente*, Ciudad de México: Trillas.
- Morales, Patricia y Landa, Victoria (2004). “Aprendizaje basado en problemas”, *Theoria*, vol. 13, pp. 145-157. Disponible en: <http://148.202.167.116:8080/xmlui/handle/123456789/574> (consulta: 17 de noviembre de 2022).
- Paz, Hernán (2010). “La enseñanza centrada en resolución de problemas pone en marcha estrategias metacognitivas en la formación del estudiante de ingeniería”, *Revista Universidad*

- EAFIT*, vol. 46, núm. 157, pp. 40-54. Disponible en: <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/725> (consulta: 03 de diciembre de 2022).
- Paz, Hernán (2012). “Análisis comparado de las tendencias didácticas basadas en resolución de problemas en ingeniería”, *Argos*, vol. 29, núm. 57, pp. 126-149. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-16372012000200007&script=sci_abstract (consulta: 03 de diciembre de 2022).
- Pólya, George (2011). *Cómo plantear y resolver problemas*, Ciudad de México: Trillas.
- Reguant-Álvarez, Mercedes y Torrado-Fonseca, Mercedes (2016). “El mètode Delphi”, *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, vol. 9, núm. 1, pp. 87-102. <https://doi.org/10.1344/reire2016.9.1916> (consulta: 03 de diciembre de 2022).
- Rodríguez-Mesa, Fernando; Kolmos, Anette y Guerra, Aida (2017). *Aprendizaje basado en problemas en ingeniería. Teoría y práctica*, Aalborg: Aalborg Universitetsforlag. Disponible en: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/262849611/Book_PBL_online.PDF (consulta: 15 de noviembre de 2022).
- Rossit, Daniel; Toncovich, Adrián; Rossit, Diego y Nesmachnow, Sergio (2021a). “Solving a flow shop scheduling problem with missing operations in an industry 4.0 production environment”, *Journal of Project Management*, vol. 6, núm. 1, pp. 33-44. <https://doi.org/10.5267/j.jp.m.2020.10.001>
- Rossit, Daniel; Toncovich, Adrián; Rossit, Diego y Nesmachnow, Sergio (2021b). “Explicit multiobjective evolutionary algorithms for flow shop scheduling with missing operations”, *Programming and Computer Software*, vol. 47, núm. 8, pp. 615-630. <https://doi.org/10.1134/S0361768821080223>
- Rugarcía, Armando y Delgado, Araceli (1987). “Resolución creativa de problemas en la enseñanza de las ingenierías”, *Revista de la Educación Superior*, vol. 16, núm. 62, pp. 1-13. Disponible en: <http://publicaciones.anuies.mx/revista/62/1/2/es/resolucion-creativa-de-problemas-en-la-ensenanza-de-las-ingenierias> (consulta: 03 de diciembre de 2022).
- Ruiz-Meza, José; Castellanos-Adarme, Mariel; Alzate-Ortiz, Faber y Flórez-Gutiérrez, Alfredo (2021). “Aplicación del aprendizaje basado en problemas en el programa de Ingeniería Industrial: caso de estudio aplicado en el curso de Gestión de cadenas de suministro”, vol. 41, núm. 2. <https://doi.org/10.14483/23448350.16248>
- Schoenfeld, Alan (1992). “Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense-making in mathematics”, en D. Grouws (ed.), *Handbook for research on mathematics teaching and learning*, Nueva York: MacMillan, pp. 32-45. <https://doi.org/10.1177/002205741619600202>
- Serna, Edgar y Flórez, Giovanni (2013). “El razonamiento lógico como requisito funcional en ingeniería”, en M. Larrondo, H. Álvarez, I. Esparragoza y C. Rodríguez (eds.), *Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity: Proceedings of the 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Cancún, México: LACCEI, pp. 14-16. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP221.pdf> (consulta: 24 de noviembre de 2022).
- Sharp, James (1991). “Methodologies for problem solving: An engineering approach”, *The Vocational Aspect of Education*, vol. 42, núm. 114, pp. 147-157. <https://doi.org/10.1080/10408347308003631>

- Silveira, Cecilio (2007). “ESIRP: Estrategia Inteligente para la Resolución de Problemas”, *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 2, núm. 3, pp. 1-6. Disponible en: <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/46> (consulta: 24 de noviembre de 2022).
- Sobek, Durward y Jain, Vikas (2004). “The engineering problem solving process: Good for students?”, *Proceedings of 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference*, Utah: American Society for Engineering Education. Disponible en: <https://peer.asee.org/the-engineering-problem-solving-process-good-for-students> (consulta: 24 de noviembre de 2022).
- Sudarsono; Kartono; Mulyono y Mariani, S. (2022). “The effect of STEM model based on Bima’s local cultural on problem solving ability”, *International Journal of Instruction*, vol. 15, núm. 2, pp. 83-96. <https://doi.org/10.29333/iji.2022.1525a> (consulta: 01 de diciembre de 2022).
- Tolbert, DeLean y Cardella, Monica (2017). “Understanding the role of mathematics in engineering problem solving”, *2017 ASEE Annual Conference*, Ohio: American Society for Engineering Education. Disponible en: <https://peer.asee.org/29056> (consulta: 17 de noviembre de 2022).
- Toro-Carvajal, Luis; Ortiz-Álvarez, Hugo y Jiménez-García, Francy (2016). “Solución de problemas complejos de ingeniería empleando sistemas cognitivos especializados como motivación en la enseñanza de matemáticas avanzadas para ingeniería”, *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 11, núm. 22, pp. 31-38. Disponible en: <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/641> (consulta: 01 de diciembre de 2022).
- Vargas, Luis y Salazar, Jaime (comps.) (2019). *Perfil de ingreso y egreso del ingeniero iberoamericano*, Bogotá: Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería. Disponible en: https://anfei.mx/public/files/ASIBEI/Perfil_Ingreso_Egreso_ASIBEI_2019.pdf (consulta: 02 de octubre de 2022).
- Warner, Jon (2020). *Toma de decisiones y solución de problemas. Perfil de competencias*, Madrid: Editorial Universitaria Ramon Areces.
- Wright, Paul (2015). *Introducción a la ingeniería*, Ciudad de México: Limusa.

Artículo recibido: 3 de abril de 2023

Dictaminado: 5 de diciembre de 2023

Segunda versión: 15 de diciembre de 2023

Aceptado: 1 de febrero de 2024