

# Nueva Herramienta Computacional para la Enseñanza en la Solución de Problemas de Investigación de Operaciones

**Alexander D. PULIDO-ROJANO**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Jhohan RODRÍGUEZ-HERAZO**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Osman MADERA-NARVAEZ**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Daniela MALDONADO-MUÑOZ**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Eydin CANO-CAMACHO**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**Julio DE-LA-HOZ-ARROYO**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

**María HENRÍQUEZ-GOMEZ**

Departamento de ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar  
Barranquilla, A.A. 5059, Colombia

## RESUMEN

La Investigación de Operaciones (IO) es una disciplina fundamental para la toma de decisiones y la optimización de los procesos; y tiene especial importancia en el ámbito de la educación profesional y la ingeniería. La enseñanza universitaria de los fundamentos y principios de la IO han permitido que ingenieros y profesionales afines encuentren soluciones a problemas complejos que incrementan la productividad en las organizaciones. La presente investigación propone el desarrollo y validación de una nueva herramienta informática para la solución de problemas de IO, como soporte y apoyo a la enseñanza universitaria, aplicaciones organizacionales y validación de modelos matemáticos. El aplicativo resuelve principalmente problemas matemáticos de Toma de Decisiones, Cálculo de matrices de pagos, Teoría de Juegos, Cadenas de Markov y Teoría de Colas. Este aplicativo fue desarrollado en lenguaje de programación Python con el módulo de numpy y la biblioteca de matemática básica del mismo lenguaje bajo Licencia pública general GNU (GPL) 2.0. Asimismo, fueron creadas una versión de escritorio y una versión virtual para facilitar su acceso y uso por parte de estudiantes y profesores. Las interfaces son de fácil manejo y su estructura intuitiva permite que los usuarios se sientan cómodos al usarlo. La validación se realizó a través de la solución de problemas tomados de documentos oficiales como libros, artículos científicos, entre otros. Se pretende que esta herramienta sea un apoyo para profesores, profesionales y estudiantes que reciben cursos de IO.

**Palabras Claves:** Enseñanza en Ingeniería, Investigación de Operaciones, Modelos Analíticos, Problemas Industriales, Toma de Decisiones.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Investigación de Operaciones (IO) nace del método científico por la necesidad de tomar decisiones en las operaciones. Por ello, se puede definir como la aplicación de estrategias, métodos numéricos y analíticos que va a ayudar a tomar mejores decisiones en la planeación, integración y dirección de todos los procesos que influyen en una organización. Además, a través del proceso de construcción de modelos de IO en sus diferentes contextos, se pueden determinar las mejores opciones posibles para encontrar una solución óptima [1, 2]. La investigación de operaciones acoge una perspectiva organizacional para resolver los conflictos de intereses entre los componentes de la organización de manera que el resultado sea el mejor para los procesos involucrados en su conjunto [3]. Es decir, cada uno de esos intereses a los cuales se les busca solución deben ser congruente con los objetivos globales para poder brindar conclusiones claras y una solución óptima para el éxito de la empresa [4]. Autores como Hamdy Taha (2012) menciona tres componentes principales de la IO: alternativas, criterio objetivo y restricciones [5]. En primer lugar, las alternativas son las opciones razonables para dar solución a una situación problemática que se identifican de acuerdo con el ancho y altura de las variables algebraicas. En segundo lugar, el criterio objetivo en donde se evalúan las alternativas dadas, y a partir de ello elegir la mejor opción para el modelo. Por último, las restricciones que son un conjunto de

condiciones que limitan las alternativas, y que se deben tener en cuenta para cumplir con el criterio objetivo [6, 7]. Estos componentes se pueden ver reflejados en las enseñanzas de la Investigación de Operaciones, en temas como: modelos con programación lineal mediante el método simplex de George Dantzig, programación dinámica, dualidad, modelos para transporte, programación de metas, programación heurística, modelo del agente viajero, análisis de decisiones, teoría de colas, teoría de inventario, modelo de simulación, entre otros [8, 9]. Por lo general, la solución de estos modelos requiere de cálculos complejos y de difícil manejo cuando son abordados manualmente, y aunque esto puede ser necesario al ser enseñados en una etapa inicial, podemos asegurar que las herramientas computacionales de apoyo son útiles para profundizar y afianzar su comprensión. En este sentido, cabe resaltar que existen pocas herramientas informáticas de acceso abierto que resuelven estos tipos de problemas y las privadas, en su mayoría, exigen una membresía Premium con el fin de acceder a todas las funciones de cálculo.

Por todo lo anterior, el presente documento propone una nueva herramienta computacional de acceso libre que ayude en la enseñanza y solución de problemas de IO en contextos educativos y ambientes reales, considerando problemas de Toma de Decisiones, Matrices de pagos, Teoría de Juegos, Cadenas de Markov y Teoría de Colas. La herramienta permite simplificar los cálculos e invertir menos tiempo en la obtención de estos, además de brindar rapidez y confianza en los resultados. Fue construido en el lenguaje de programación Python bajo la librería numpy, con licencia pública GPL para su fácil utilización y enseñanza. Además, fue desarrollada en versiones de escritorio y web, alojado en google colab. El código desarrollado para la solución de los problemas es abierto y de libre modificación para incentivar la participación de la comunidad científica nacional e internacional.

Este documento está estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 introduce los antecedentes históricos más importantes de la IO. Sección 3 muestra la incidencia de la IO en áreas como la educación y la ingeniería. Sección 4 presenta un resumen de las características de algunas de las aplicaciones informáticas que han sido desarrolladas para la solución de problemas de IO. Los trabajos recientes relacionados con el desarrollo de aplicaciones o estrategias propuestas para la enseñanza y solución de problemas de IO son presentados en la sección 5. Todas las características del aplicativo desarrollado y propuesto en este documento pueden ser encontradas en la Sección 6. Finalmente, las conclusiones de la presente investigación son presentadas en la Sección 7.

## 2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

En el transcurrir del tiempo, la IO ha tenido diversas contribuciones y aportes importantes que han permitido el aumento de la productividad en los procesos industriales. Todo esto inició desde la llegada de la revolución industrial, en la segunda mitad del siglo XVIII, la cual se originó por la necesidad de administrar de manera adecuada los elementos para el correcto funcionamiento de las organizaciones. El proceso de administración que se quería implementar en esos tiempos en las organizaciones debía ser eficiente y eficaz, por lo que surgió por primera vez el término “Investigación de Operación” [10]. Este concepto tomó fuerza durante la segunda guerra mundial; en donde las personas líderes de operaciones militares usaron modelos para delegar las asignaciones, recursos, planificar y tomar decisiones orientadas al éxito de las

operaciones. Para ello, reunieron a un grupo de expertos en el método científico quienes diseñaron estrategias tácticas de defensas que permitieron responder tanto en la parte terrestre y aérea; y a partir del éxito obtenido, se mejoraron otras áreas de las operaciones militares submarinas y de apoyo con un soporte científico y analítico. Los equipos científicos que trabajaron en IO comprendieron que otros problemas en diferentes áreas podían resolverse utilizando este modelo, por lo que fueron introduciéndose en el ámbito industrial, de negocios y el estado [5, 6]. A mediados del siglo XX se lograron notables avances en temas como la programación lineal y la programación dinámica; y con la revolución de las computadoras, se alcanzó un manejo eficiente de los problemas que se presentan en las organizaciones con softwares especializados para tratar problemas de IO en entornos reales [11].

## 3. LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES EN LA EDUCACIÓN Y EN LA INGENIERÍA

La Investigación de Operaciones es una disciplina fundamental para la toma de decisiones y la optimización de los procesos; y tiene especial importancia en el ámbito de la educación y la ingeniería.

En el área de la educación, la IO ayuda a aportar conocimientos que enriquecen las competencias de los estudiantes de las generaciones presentes y futuras, con el propósito de incidir en su crecimiento y desarrollo en el ámbito de la innovación, los sistemas empresariales y la investigación. Además, son los mismos ingenieros quienes a lo largo del tiempo han creado aplicaciones o softwares que ayudan a los estudiantes a practicar y ejecutar algoritmos de manera dinámica, tomado en cuenta que los programas realizan todos los cálculos de rutina de manera exacta mientras que el estudiante centra su atención en aprender y ejecutar la lógica del algoritmo. Estas rutinas de cálculo son muy eficientes e ilustrativas para resolver muchos de los problemas conocidos [1, 3].

En la ingeniería, la IO ha originado métodos que facilitan el análisis y la búsqueda de soluciones óptimas a los problemas planteados en las organizaciones, a fin de escoger la mejor decisión. A partir de estos métodos se han producido contribuciones relacionadas con la coordinación de actividades y el incremento de la competitividad empresarial; tanto así que hoy existen más de 30 países integrados en la IFORS (International Federation of Operational Research Societies). Además, su aplicación ha sido relevante en campos como la logística, la manufactura, la optimización de los procesos, la gestión de ecosistemas, la evaluación de proyectos, la administración de los inventarios, la operación de centros, entre otros [11].

## 4. APLICACIONES ÚTILES PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE IO

A lo largo del tiempo, se han desarrollado un conjunto de aplicaciones y/o softwares para la resolución de problemas de IO, entre los más reconocidos tenemos a: PHPSimplex, WinQSB, Excel, GeoGebra, STORM, NEOS Server, Atozmath, OR Courseware, LINDO y AMPL. A continuación, se describen algunas de las características más destacables de cada uno de ellos [12].

- PHPSimplex: es una herramienta de solución de problemas de programación lineal de acceso libre y gratuito. El aplicativo muestra las operaciones completas con todas las iteraciones y permite resolverlos mediante el Método Simplex, el Método de las Dos Fases y el Método Gráfico,

según los componentes del problema (función objetivo, restricciones, variables de decisión y términos independientes para poder aplicar el algoritmo).

- WinQSB: ayuda a la solución de una variedad de situaciones y problemas de producción en la IO. Su acceso es libre, gratuito y puede ser utilizado por estudiantes, profesores y expertos en el área. Este aplicativo precisa ciertas condiciones para la realización de los problemas, por ejemplo, cantidad de variables y restricciones, el criterio de la función objetivo, así como los tipos de variable por defecto y el formato de entrada.
- Excel: es un programa desarrollado por Microsoft que consiste en una hoja de cálculo para realizar funciones matemáticas, estadísticas y otras, que permiten resolver situaciones desde la más básica hasta la más complejas. Este programa cuenta con una herramienta de Solver para programación lineal en los problemas de maximización, minimización, transporte y asignaciones.
- GeoGebra: es un programa que permite solucionar los problemas de optimización a través del método simplex para programación lineal. Su acceso es libre y gratuito, y se puede utilizar en la web o instalado en un ordenador. Este aplicativo permite encontrar el máximo o mínimo de una función objetivo planteada, respetando las restricciones del problema.
- STORM: es un software de estadística que brinda técnicas y soluciones cuantitativas para problemas de asignaciones, PERT/CPM, análisis de colas, inventarios y pronósticos, apoyando a la toma de decisiones en tiempo real.
- NEOS SERVER: es un servicio gratuito que proporciona formas de solucionar problemas de optimización de programación lineal, programación entera y programación no lineal. Su acceso a la biblioteca de Solvers online es gratuito. Este servicio permite difundir recursos de Solvers en internet y admite problemas expresados en lenguaje modelado.
- Atozmath: es un programa libre y gratuito con herramientas como gran M, Dos fases, métodos gráficos y otros más que van a permitir la solución de diversos problemas de la programación lineal.
- OR Courseware: es un software que permite solucionar una gran cantidad de problemas de operaciones de manera eficiente. Este tipo de software fue diseñado con el propósito de ayudar o reforzar a los estudiantes en su etapa educativa, por lo que es accesible para su uso.
- LINDO: es un programa de modelado que tiene como función resolver modelos de optimización, su acceso es gratuito. Este programa trata específicamente programación lineal y cuadrática con variables reales y binarias, y su interfaz es entendible tanto para estudiantes como profesionales.
- AMPL: es un lenguaje de programación que permite expresar algebraicamente problemas de optimización lineal, programación entera y programación no lineal, en donde se formula y se resuelve el problema con la separación del modelo y los datos para poder encontrar la solución óptima. Igualmente, requiere la definición de las variables, restricciones y objetivos que se expresan a través de conjuntos y parámetros.

## 5. TRABAJOS RELACIONADOS

Algunas investigaciones han sido realizadas recientemente para diseñar y crear aplicaciones computacionales y estrategias didácticas que apoyen a los procesos de enseñanza de la IO.

Autores como [13] desarrollaron una metodología de enseñanza para generar micro mundos que permitieran a estudiantes universitarios interiorizar conceptos matemáticos difíciles de comprender por métodos reduccionistas aplicados a sistemas reales. Los autores trabajaron con grupo de alumnos de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia) enseñando conceptos de Programación dinámica determinista aplicada a una línea de producción textil. La metodología fue evaluada por expertos y demuestra ser útil para la fácil enseñanza de conceptos teóricos en ambientes simulados. En [14] se planteó una estrategia m-learning llamada App Simplex; construida por medio de la metodología Mobile-D. Esta aplicación es funcional para el aprendizaje de la metodología de la programación lineal en el área de Investigación de Operaciones; lo cual lo convierte en un instrumento innovador y práctico que promueve la enseñanza del tema. La estrategia hace énfasis en la resolución de los modelos determinísticos de programación lineal, como la Teoría de dualidades, método gráfico y método simplex. En el estudio desarrollado por [15] se propuso una lúdica que permite tomar en cuenta las emociones para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje en áreas de la Investigación de Operaciones. La lúdica desarrolla las dimensiones cognitivas, comunicativas, entre otras, en el abordaje de este tipo de problemas; dando una muestra de la importancia de las diversas formas de expresión y comunicación cuando se quieren solucionar problemas complejos de ingeniería. Autores como [16] propusieron una herramienta para la enseñanza significativa de los aprendices en áreas de la ingeniería y la informática relacionadas con la asignatura de Investigación de Operaciones. La propuesta da lugar a formulaciones y construcciones de modelos matemáticos más consistentes en la solución de problemas empresariales. La herramienta busca desarrollar nuevas destrezas y capacidades en el estudiante; por medio de metodologías utilizadas que incentivan el uso de guías didácticas de modalidad virtual. La investigación inició con un análisis previo de las causas del bajo rendimiento académico (actitud, interacción entre docente y alumno, análisis crítico, bases numéricas, entre otras). Las cuales permitieron la identificación y la mejora del aprendizaje. En [17] se desarrolló un producto multimedia como medio didáctico y apoyo al proceso de enseñanza-aprendizaje en la asignatura Investigación de Operaciones en la Universidad de las Ciencias Informáticas (Cuba). Uno de los problemas encontrados en el estudio estuvo relacionado con la gran cantidad de información que se debe manejar en problemas de Investigación de Operaciones, ocasionando que los estudiantes no encontrarán una forma didáctica que les facilite su aprendizaje. La ejecución del sistema fue orientada por la metodología de desarrollo de Programación Extrema, de la cual se obtuvo como producto final una herramienta multimedia de enseñanza. En [18] se diseñó un instrumento web que coopera con la resolución de problemas de programación lineal en la educación superior. Este instrumento considera la necesidad de ayudar a resolver problemas de Investigación de Operaciones que son difíciles de resolver manualmente y el conocimiento deficiente en las bases numéricas por parte de los estudiantes. La herramienta permite el análisis del efecto que tiene la aplicación en los estudiantes y la perspectiva del instrumento durante su uso. En [19] se propuso una serie de herramientas pedagógicas computacionales para la enseñanza de la simulación discreta mediante la metodología del grupo de investigación GEIO de la Universidad Tecnológica de Pereira (Colombia). Para el desarrollo del proyecto, se identificaron diferentes herramientas para la enseñanza de las temáticas de Investigación de

Operaciones y estadística empleando elementos computacionales. Asimismo, se analizaron algunas unidades temáticas desarrolladas por centros educativos y se identificaron cuáles de los experimentos pedagógicos y lúdicos desarrollados por el grupo GEIO podrían emplearse para facilitar el aprendizaje de temáticas de IO y estadística. En esta investigación se generó una cartilla educativa con un resumen de las herramientas lúdicas desarrolladas y que puede ser empleadas por docentes y orientadores.

Finalmente, [20] buscó la forma de estructurar métodos y modelos que ayuden a estudiantes universitarios de cuarto semestre a mejorar el entendimiento matemático para resolver problemas empresariales modelados matemáticamente. La idea fue proponer herramientas que ayuden a los docentes a la enseñanza de la Investigación de Operaciones mediante herramientas que apoyen la formulación y solución de modelos en programación lineal, tomando en cuenta los métodos y las características de resolución.

Con base en todo lo anterior, podemos observar que muchas de las herramientas y aplicaciones desarrolladas son de acceso libre y su uso contribuye a la solución de problemas complejos de IO. Sin embargo, no todas las aplicaciones o estrategias consideran cada uno de los problemas visto en un curso de IO, por lo que el presente documento busca proponer un conjunto inicial de algoritmos desarrollados en lenguaje Python que ayuden a la solución de problemas de IO relacionados con Toma de Decisiones, Matrices de pagos, Teoría de Juegos, Cadenas de Markov y Teoría de Colas. En este sentido, al ser una herramienta de modificación en línea, el objetivo es motivar a otros investigadores a proponer nuevos algoritmos que ayuden a solucionar un conjunto más amplio de problemas. La aplicación propuesta en presentada en la siguiente sección.

## 6. APLICACIÓN “RECHNER” PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE IO

En esta sección se presenta la herramienta computacional (la cual nombramos “RECHNER”) y sus características para la solución de problemas de IO. Este programa fue desarrollado por el grupo de investigación GEMAS de la Universidad Simón Bolívar (Colombia) con el apoyo del grupo de semillero de investigación del departamento de ingeniería industrial.

Inicialmente, los algoritmos desarrollados para esta aplicación ofrecen resolución a problemas del curso de Investigación de Operaciones II, como son: cálculo de matrices de pagos para la toma de decisiones y la aplicación de los diferentes tipos de enfoques para la selección de alternativas (optimista, pesimista, arrepentimiento y Valor esperado Laplace). El programa considera también la solución de problemas de Teoría de Juegos (Games Theory) para juegos de suma cero entre dos personas, mediante el uso de estrategias mixtas (empleando el método algebraico) y de punto silla. Asimismo, se incluye el algoritmo de solución de problemas de Teoría de Colas mediante el método analítico, empleando las fórmulas matemáticas en casos de llegadas de unidades al sistema con distribución Poisson y tiempos de servicio exponenciales para 1 o más servidores. De la misma manera, se incluye el cálculo de predicción de estados futuros para problemas de Cadenas de Markov, empleando el método de multiplicación de vectores y el método de ecuaciones de Chapman-Kolmogórov. Además, se da solución a problemas con estados absorbentes y se calculan las probabilidades de estado estable.

Como ya hemos comentado anteriormente, esta herramienta fue desarrollada en lenguaje de programación Python con el módulo de numpy y la biblioteca de matemática básica de mismo lenguaje bajo Licencia pública general GNU (GPL) 2.0. Adicionalmente a esto, esta herramienta está ligada al trabajo investigativo ubicado en: <http://hdl.handle.net/20.500.12442/2601>. Cabe destacar que se crearon dos versiones del aplicativo (ver Figuras 1 y 2), una versión de escritorio y otra versión online ubicado en la plataforma de Google colab en el siguiente enlace: <https://colab.research.google.com/drive/1ZK52MFFWwfXUyENEOCuuUTNHDPFTChRU?usp=sharing>. Estas versiones ayudan a los distintos usuarios a validar la funcionalidad de la herramienta en tiempo real y aprovechar sus bondades. El manual de uso también puede ser encontrado en este enlace.

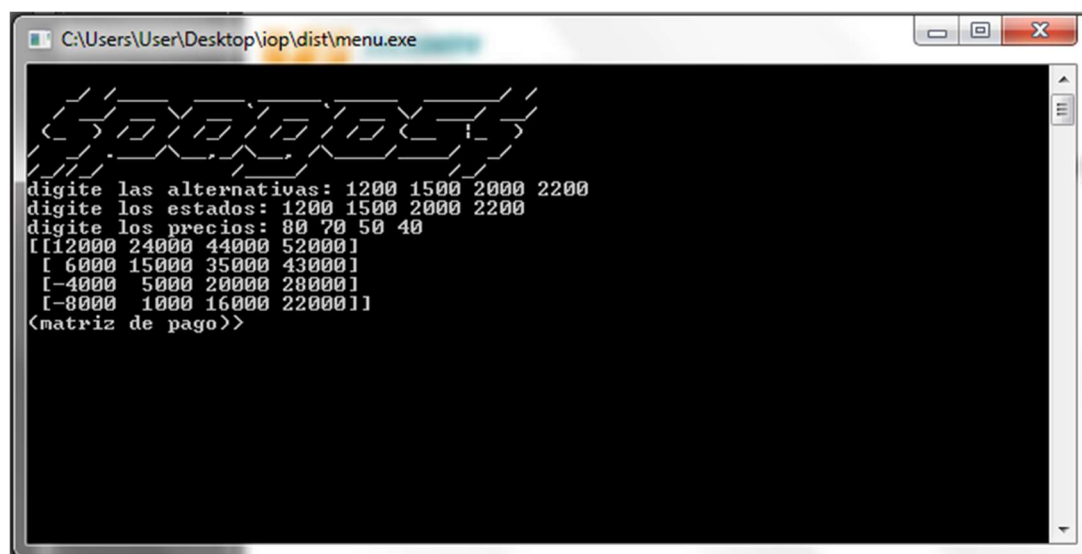


Fig. 1 Imagen versión escritorio del aplicativo “RECHNER”

```

#@title
import numpy as np
import os
# import pyfiglet as pf
from math import factorial as fac

#borrador
def borrarPantalla():
    if os.name == "posix":
        os.system ("clear")
    elif os.name == "ce" or os.name == "nt" or os.name == "dos":
        os.system ("cls")

#matriz de pagos
def matrizPago(alternativas, estados, pv, pc, pr, pc2):
    matriz_pago = []
    for i in range(len(alternativas)):
        for j in range(len(estados)):
            if alternativas[i] == estados[j]:
                valor = pv*estados[j]-pc*alternativas[i]
                matriz_pago.append(valor)
            elif alternativas[i] > estados[j]:
                valor = pv*estados[j]-pc*alternativas[i]+pr*(alternativas[i]-estados[j])
                matriz_pago.append(valor)

```

Fig. 2 Imagen versión web del aplicativo “RECHNER”

Se espera que “RECHNER” sea provechosa para estudios investigativos y la enseñanza en cursos de IO. La herramienta se encuentra en su primera versión y se espera que con el tiempo sean agregadas más funcionalidades y nuevos algoritmos.

## 7. CONCLUSIONES

La Investigación de Operaciones (IO) es una herramienta fundamental para la solución de problemas empresariales que pueden ser abordados mediante modelos matemáticos y/o analíticos. Es útil para encontrar una solución óptima o identificar la mejor solución a un problema empresarial. A lo largo del tiempo, la IO ha sido fundamental para la mejora de procesos y la toma de decisiones. En este documento se ha presentado el desarrollo de nueva herramienta computacional para la solución de problemas asociados a la Investigación de Operaciones. La herramienta pretende ser una ayuda en la enseñanza y solución de problemas en entornos educativos y reales. Fue desarrollada por el grupo de investigación GEMAS de la Universidad Simón Bolívar (Colombia) con el apoyo del grupo de semillero de investigación del departamento de ingeniería industrial. Fue utilizado el lenguaje de programación Python para el desarrollo de los algoritmos. Además, es de libre acceso y libre modificación para motivar a la comunidad científica internacional a la creación y propuesta de nuevos algoritmos. En su desarrollo fueron tenidos en cuenta elementos como accesibilidad, claridad, facilidad de uso y comprensión del entorno de interacción. Actualmente la herramienta se encuentra en su primera versión con algoritmos de solución para problemas de Toma de Decisiones, Teoría de Juegos, Cadenas de Markov y Teoría de Colas. Las versiones creadas (de escritorio y web) son de fácil manejo e intuitivas para facilitar su uso. La validación fue hecha en problemas encontrados en documentos científicos como libros y artículos. Se pretende que este documento motive a profesores, estudiantes y profesionales al uso de la herramienta e incentive a la propuesta de nuevos modelos de solución.

## 8. REFERENCIAS

- [1] F. Hillier y G. Lieberman, Introducción a la investigación de operaciones, 10ma ed., México D.F.: McGraw - Hill Interamericana, 2015.
- [2] A. Pulido-Rojano, R. De la Hoz-Reyes y E. Melamed-Varela, Avances en Investigación de Operaciones y Ciencias Administrativas, Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 2017.
- [3] A. Pulido-Rojano, P. Sánchez-Sánchez y E. Melamed-Varela, Nuevas tendencias en Investigación y Ciencias Administrativas, Barranquilla, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar, 2018.
- [4] G. Forero de López, “Investigación e Innovación en Ingeniería para un mundo sostenible – 4.0”, Investigación e Innovación en Ingenierías, Vol. 7, No. 1, 2019, pp. 4-5.
- [5] H. A. Taha, Investigación de operaciones, 9na ed., México D.F.: Pearson Educación, 2012.
- [6] D.R. Anderson, D.J. Sweeney, T.A. Williams, J.D. Camm, J.J. Cochran, M.J. Fry and J.W. Ohlmann, Fundamentos de Métodos cuantitativos para los negocios, 13th Edición, Ciudad de México, México: Cengage Learning, 2019.
- [7] E. Gómez-Córdoba., A. Jiménez-Panchalo y V. Vallejo-Castillo, “Modelamiento matemático de la extracción asistida con ultrasonido de compuestos bioactivos presentes en la cebolla (Allium cepa L.): revisión y análisis teórico”, Investigación e Innovación en Ingenierías, Vol. 9, No. 2, 2021, pp. 112-129.
- [8] P. Riquelme, G. Gatica, y E. Orozco, “Diseño de un Modelo de Operación para Ruteo de Transporte Urbano Basado en Simulación Discreta”, Investigación e Innovación en Ingenierías, Vol. 3, No. 2, 2015, pp. 1-12, <https://doi.org/10.17081/invinno.3.2.2026>.
- [9] M. Contreras-Higuera., J. Vesga-Ferreira y J. Vesga-Barrera, “Modelo de optimización para la ubicación de Access Point en redes WLAN”, Investigación e Innovación en Ingenierías, Vol. 9, No. 1, 2021, pp. 180-195.
- [10] L. Munguía Ulloa y M. A. Protti Quesada, Investigación de operaciones, San José, Costa Rica: Euned, 2005.

- [11] Á. L. González Ariza y G. García Llinás, G., Manual práctico de investigación de Operaciones I, 4ta edición, Barranquilla, Colombia: Universidad del norte, 2015.
- [12] A. Parada Curbelo, A. Medina León, D. Medina Nogueira, C.D. Nogueira Rivera y C.A. Hernández Nariño, Pronósticos con WINQSB, Cuba: Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", 2013.
- [13] C. M. Zuluaga-Ramírez y M. Gómez-Suta, "Metodología lúdica para la enseñanza de la programación dinámica determinista en un contexto universitario", *Entramado*, Vol. 12, No. 1, 2016, pp. 236-249. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/entramado/article/view/473>.
- [14] A. Leyva, M. Carreño, I. Estrada, A Sandoval, y G. Espinoza, "Desarrollo de una herramienta tipo m- Learning utilizando la metodología Mobile-D, como apoyo en el proceso enseñanza-aprendizaje de la programación lineal", *Revista Colombiana de Computación*, Vol. 17, No. 1, 2016, pp. 7-22. <http://hdl.handle.net/20.500.12749/8870>.
- [15] P.P. Ballesteros Silva, C. Jaramillo y D. P. Ballesteros Riveros, "Aplicación de la lúdica en la solución de un problema de investigación de operaciones: quesos y yogures", *scientia et technica*, Vol. 10, No. 26, 2004, pp. 115-120.
- [16] K. A. Avila Hidalgo, Guía didáctica para la enseñanza de investigación de operaciones de los alumnos de la carrera de Ingeniería Informática de la Universidad Central del Ecuador, Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Magister en Docencia Matemática Universitaria, Instituto Superior de Investigación y Posgrado. Quito: UCE, 2018.
- [17] O. D. Castillo Gonzales, Y. Barrabia Legrá, y C. E. Vazquez Silva, Multimedia para el apoyo a la enseñanza de la Programación Lineal en la asignatura Investigación de Operaciones en la Universidad de las Ciencias Informáticas, 2016, <https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/ident/9235>.
- [18] M. Falco, I.J. Núñez, L. Parea, R. Carlevari y F. Tanzi, "Herramienta software como soporte al proceso de enseñanza-aprendizaje de la programación lineal", *Simposio Argentino de Enseñanza Superior en Informática (SAESI)*, 2018, pp.33-45. ISSN: 2618-3269.
- [19] M. P. Gómez Suta, Propuesta de herramientas pedagógicas experienciales para la enseñanza de simulación discreta empleando la metodología aplicada por el Grupo GEIO, Universidad Tecnológica de Pereira, 2017. <https://hdl.handle.net/11059/8005>.
- [20] M. A. Torres Almeida, La orientación didáctica de la investigación de operaciones en el proceso de aprendizaje de los modelos matemáticos, en la escuela de administración de empresas, de la pontificia universidad católica del ecuador sede ambato, durante el período agosto-diciembre de 2009, Trabajo de grado en maestría en Docencia y Currículo para la Educación Superior, 2013, <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/5942>.