



CIENCIAS TÉCNICAS

Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba, 2020

Modelación matemática en la solución de problemas de la producción, los servicios y la salud

Rosario Garza Ríos ^{1*} <https://orcid.org/0000-0001-6290-2200>

Edith Martínez Delgado ¹ <https://orcid.org/0000-0001-9725-7467>

José A. Vilalta Alonso ¹ <https://orcid.org/0000-0001-7505-8918>

Caridad González Sánchez ¹ <https://orcid.org/0000-0001-9492-9192>

¹ Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba

*Autor para la correspondencia: rosariog@ind.cujae.edu.cu

RESUMEN

Introducción. El paradigma decisional basado solamente en la práctica ha sufrido cambios debido al rápido y creciente desarrollo de las herramientas cuantitativas que permiten obtener soluciones que modelan racionalmente la forma de actuar del decisor. El objetivo que se persigue con el presente trabajo es diseñar la versión 2.0 del procedimiento para la aplicación de la modelación matemática para resolver problemas de la producción y los servicios, incluyendo una tecnología que soportada en el paradigma multicriterio permita decidir qué modelo matemático se adecua más dependiendo de las características del problema a resolver y de esta forma contribuir a elevar su eficiencia, eficacia y productividad. **Métodos.** Se utilizan herramientas cuantitativas de la estadística y la investigación de operaciones entre las que se destacan técnicas de expertos, programación lineal y entera, métodos heurísticos y técnicas multicriteriales. **Resultados.** En todos los problemas resueltos aplicando el procedimiento se mejoraron los indicadores, obteniéndose una mayor eficiencia, disminución de los costos y beneficios sociales. Como conclusiones, las aplicaciones realizadas han validado la necesidad y factibilidad del procedimiento propuesto obteniendo mejores resultados en cuanto a clientes satisfechos, ingresos, utilidades, aprovechamiento de las capacidades, entre otros, así como impacto social en el área de la salud y la educación superior.

Mathematical modeling in the solution of production, service and health problems

ABSTRACT

Introduction. The decision-making paradigm in which decisions are empirically made based on the experience of the personnel has undergone changes due to the rapid and growing development of quantitative tools. The latter have allowed the procurement of solutions that rationally model the decision-maker's way of acting. The objective pursued with this work is to design version 2.0 of the procedure for the application of mathematical modeling to solve

Palabras claves

decisión; modelación matemática; tecnologías cuantitativas; mejora

Keywords

decision; mathematical modeling; quantitative technologies; improvement



production and service problems, including a technology that, supported by the multi-criteria paradigm, allows for deciding which mathematical model is most appropriate, depending on the characteristics of the problem to be solved and in this way contribute to raising its efficiency, effectiveness and productivity. **Methods.** Quantitative tools of Statistics and Operations Research including but not limited to: Expert Techniques, Linear and Integer Programming, Heuristic Methods and Multicriterial Techniques. **Results.** All the problems solved through the application of the procedure saw an improvement of the indicators, thus obtaining greater efficiency and lower costs. **Conclusions.** The applications carried out validated the need and feasibility of the proposed procedure, since it guarantees better results in terms of satisfied customers, income, profits, use of capacities, among others, as well as a social impact in the area of health and higher education.

INTRODUCCIÓN

Los entornos cambiantes, el desarrollo de las tecnologías y la difusión en el uso de las normas de la familia ISO 9000 han evidenciado la necesidad de una toma de decisiones rápida, eficiente y soportada en datos. La responsabilidad de ahorrar recursos para dar satisfacción a un cliente cada vez más exigente, consciente y preparado, ha provocado que haya que cambiar.

Para dar respuesta a esta situación en el 2011 un colectivo de profesores y estudiantes de pregrado y postgrado de la facultad de ingeniería industrial crean el proyecto de investigación: Tecnologías cuantitativas para la mejora de las organizaciones, con el objetivo de minimizar la brecha existente entre la academia y la práctica y elevar el desempeño de nuestras organizaciones. Para ello se trabajó en la concepción de un procedimiento que permite la aplicación de la modelación matemática para resolver problemas de la producción y los servicios, ⁽¹⁾ al cual lo podemos definir como antecedente del presente trabajo.

En el ámbito empresarial existen un conjunto de problemas que pueden ser resueltos con la aplicación de diferentes herramientas cuantitativas, sin embargo, decidir cuál utilizar en un momento determinado es una tarea que ha adquirido especial significación en estos momentos, lo que representa el problema que se pretende resolver con el presente trabajo.

Lo anteriormente planteado motivó que se trabajara de manera continua en versiones mejoradas del procedimiento ⁽²⁾ hasta llegar a la actual versión. ⁽³⁾ El objetivo de este trabajo fue diseñar la versión 2.0 del procedimiento para la aplicación de la modelación matemática para resolver problemas de la producción y los servicios, incluyendo una tecnología que soportada en el paradigma multicriterio permita decidir qué modelo matemático se adecua más a las características del problema a resolver y de esta forma contribuir a elevar su eficiencia, eficacia y productividad. Aplicando esta filosofía, se han resuelto un conjunto significativo de problemas con el uso de técnicas de la Investigación de Opera-

ciones y la Estadística, ciencias que garantizan una toma de decisiones más racional, eficiente y basada en datos pero que poseen un grado de complejidad superior para su aplicación.

MÉTODOS

Los acontecimientos ocurridos en los últimos años en nuestro país, han impuesto la necesidad de cambiar el paradigma decisional de un enfoque empírico a un enfoque cuantitativo, donde se obtienen soluciones que modelan racionalmente la forma de actuar del decisor, ya que lo fundamental no es abordar técnicas y herramientas que permitan obtener un ahorro en cualquier dirección de una empresa, sino buscar una solución en la que se reduzcan los costos totales y se mejoren los indicadores de desempeño.

Múltiples son las propuestas de procedimientos y modelos que integran el uso de herramientas cuantitativas en el proceso de toma de decisiones, que han sido defendidas como tesis doctorales y de maestría, ⁽⁴⁻⁸⁾ las cuales se han enfocado a la solución de un determinado problema o situación. En Garza Ret *et al.* ⁽¹⁾ se presenta la concepción de un procedimiento que permite realizar la jerarquización de los problemas de una organización y por ende decidir por cual se deberá comenzar el proceso de mejora. Sin embargo, en la misma no se muestra qué modelo matemático es el que más se adecua al problema seleccionado.

La imposibilidad de contar con una guía que ayude en esta ardua tarea hace que aparezca un problema que se intenta resolver con el desarrollo de la presente propuesta: la necesidad de usar la modelación matemática en el proceso de toma de decisiones en la gestión de las organizaciones y de esta forma contribuir a elevar su eficiencia, eficacia y productividad.

Para resolver el problema antes mencionado, los autores proponen realizar una nueva versión del procedimiento incluyendo una tecnología que soportada en el paradigma multicriterio permita decidir qué modelo matemático se adecua más a las características del problema a resolver. El procedimiento

está formado por 4 fases fundamentales. fase I diagnóstico; fase II diseño de la tecnología cuantitativa; fase III validación y fase IV medición de la efectividad y mejora. La propuesta de mejora se realiza en la fase II, en la que se incluyen los pasos siguientes:

1. Análisis de la correspondencia entre características del problema y posibles herramientas cuantitativas a emplear.
 2. Cálculo del Índice de selección de la herramienta (ISH).
 3. Cálculo del Índice de selección inferior (ISI) e Índice de selección superior (ISS).
 4. Seleccionar la herramienta que más se adecua al problema a resolver.
 5. Representación matemática del problema a resolver.
 6. Diseñar o emplear la tecnología de apoyo a la toma de decisiones.
- A continuación, se muestran los cambios realizados.

Fase II: Diseño de la tecnología cuantitativa

Un aspecto de especial interés es decidir qué herramienta cuantitativa utilizar para resolver el problema seleccionado, en la presente versión de la tecnología se han incluido técnicas de la investigación de operaciones y la estadística, las cuales contribuyen a la solución de problemas empresariales. En la tabla 1 se muestran los posibles problemas que se pueden encontrar en las organizaciones, así como la(s) herramienta(s) matemática(s) que los autores proponen para darle solución, considerando: el ambiente de certeza (C) y de riesgo (R) así como el tipo de método determinístico (D) y probabilístico (P).

Las herramientas propuestas han tomado como base las más usadas en la toma de decisiones y la experiencia del colectivo de autores de la presente investigación, por tanto, esta agrupación no es exhaustiva, dejando lugar a la aplicación de otras que puedan sustentar y apoyar el proceso decisorio, siempre y cuando se domine su funcionamiento y tribute a los objetivos deseados. La selección de la herramienta a utilizar es un problema de decisión en presencia de múltiples criterios, correspondiente al nuevo paradigma decisional en este caso específicamente decisiones multiatributo cuya formulación puede ser la que sigue:

Dado un conjunto de alternativas discretas o cursos de acción se desea seleccionar la mejor o simplemente ordenarlas, evaluando cada una sobre la base de un conjunto de criterios. En este caso las posibles alternativas son las diferentes herramientas que se pueden utilizar para resolver una problemática. La aplicación de las técnicas multiatributo requiere de un conjunto de fases. En la figura 1 se muestran las mismas y posteriormente se explica brevemente en qué consiste cada una.

Fase 1

Los criterios serán definidos por los decisores en dependencia de sus intereses, no obstante los autores proponen algunos que pueden resultar de interés y su árbol jerárquico se ofrece en la figura 2.

- Información relevante con que se cuenta para la toma de decisiones.
- *Software* disponible para resolver el problema.
- Utilización de consultores externos.
- Resultados que brinda el uso de las herramientas.
- Correspondencia entre la técnica cuantitativa y el modelo de solución.

Fase 2

Para la determinación de la importancia relativa de los criterios se podrá utilizar cualquiera de los métodos que permiten la obtención del peso o importancia de éstos, siendo necesaria la definición de una escala. Éste es un aspecto de especial significación, los autores proponen la utilización de la escala propuesta,⁽⁹⁾ no obstante se puede utilizar cualquier otra, siempre que cumpla con que:

1. La separación matemática entre los números escogidos debe ser consecuente con los niveles a los que los criterios estén controlados, con lo cual se logrará un sistema de puntuación que respete las diferencias existentes entre un nivel y otro.
2. El sistema de puntuación escogido debe ser de fácil interpretación. Se recomienda no utilizar números decimales y que los números utilizados no excedan las 2 cifras.⁽⁹⁾ Si en la definición de los pesos interviene más de un decisor, deben integrarse sus intereses en un modelo de grupo; pudiéndose determinar los pesos grupales por Garza R et al. 2016,⁽⁹⁾ De Lucas J.M et al.⁽¹⁰⁾ y Garza R et al. 2019:⁽¹¹⁾

- *Rating*
- Moda
- *Ranking*
- Media Aritmética
- Mediana

Fase 3 y 4

La evaluación referida se logra a través de la conformación de la matriz de decisión, pudiéndose utilizar la escala sugerida por Garza R et al. 2016.⁽⁹⁾ Posteriormente se pasa a la determinación del índice de selección de la herramienta (ISH), para ello se propone la utilización del método de ponderación simple scoring⁽¹²⁾ con el que se obtiene la evaluación para cada una de las tecnologías; aplicando la expresión 1.

$$ISH_i = \sum_{j=1}^m W_j * P_{ij} \quad (1)$$

donde:

ISH_i: índice de selección de la herramienta i

W_j: ponderación o importancia del criterio de selección j

P_{ij}: Evaluación de la herramienta i para el criterio j

Tabla 1. Herramientas propuestas según ambiente y problema

Problema	Ambiente	Tipo de método	Herramienta
Seleccionar la alternativa discreta.	R	P	Matriz de decisión. Árbol de decisión.
Diseñar sistemas de gestión de inventarios.	R,C	P, D	Sistemas de inventarios.
Asignar recursos considerando una sola medida de efectividad.			Programación lineal.
Asignar recursos cuando las variables toman valores enteros.	C	D	Programación entera.
Asignar recursos considerando más de una medida de efectividad.			Programación multiobjetivo.
Seleccionar la mejor ruta para la recogida/distribución de mercancía diaria.			Métodos basados en el coeficiente de distancia salvada.
Determinar cuántos puestos de chequeo debe tener una línea aérea en un gran aeropuerto durante un cierto horario.	R	P	Simulación discreta.
Seleccionar la mejor secuencia de ensamble de una pieza.			Métodos de secuenciación y metaheurísticas.
Seleccionar un tipo de cultivo para aplicarlo en un área de siembra.	C	D	Modelación multiatributo.
Seleccionar a nuevo jefe de un departamento o para ocupar otro cargo de dirección.			Modelación multiatributo.
Predecir el riesgo de ruptura de un Aneurisma de la Aorta Abdominal (AAA).			Técnicas <i>Bootstrap</i> . Correlación. Regresión. Análisis discriminante.
Caracterizar geométrica y hemodinámicamente los AAA.			Correlación.
Predecir la intención de permanencia de los trabajadores.	R	P	Análisis exploratorio de datos (AED). Análisis factorial. Ecuaciones estructurales.
Pronosticar la demanda turística.			Modelos de series cronológicas. Técnicas <i>Bootstrap</i> .
Diseñar indicadores sintéticos para el sector hotelero.			Análisis multivariante de la varianza (MANOVA).

Fuente. Elaboración propia



Fuente. Elaboración propia

Fig. 1. Pasos para seleccionar la herramienta a utilizar.



Fuente. Elaboración propia

Fig. 2. Árbol jerárquico de los criterios sugeridos.

La escala antes definida, así como el peso de cada criterio, determinan los intervalos de selección de las herramientas que están formados por los índices de selección inferior (ISI) y superior (ISS); calculados mediante la expresión 1. El objetivo de establecer un intervalo es posibilitar que, a partir de su posterior evaluación en un problema cualquiera, se obtenga, con una buena aproximación la herramienta que más se adecue a sus condiciones específicas.

Los valores mínimos y máximos de P_{ij} que corresponden a la evaluación de cada herramienta según cada criterio se obtienen de la aplicación de técnicas de trabajo en grupo para hacer corresponder la opinión de personalidades de reconocido prestigio y los expertos en el tema pertenecientes a la entidad, cuyo problema se desea resolver. A continuación, en las expresiones 2 y 3 se formula cómo se calculan los ISI e ISS.

$$ISI_i = \sum_{j=1}^m W_j * \min P_{ij} \quad (2)$$

donde:

ISI_i: índice de selección inferior de la herramienta i
 W_j: ponderación o importancia del criterio de selección j
 minP_{ij}: el menor valor de evaluación de la herramienta i para el criterio j

$$ISS_i = \sum_{j=1}^m W_j * \max P_{ij} \quad (3)$$

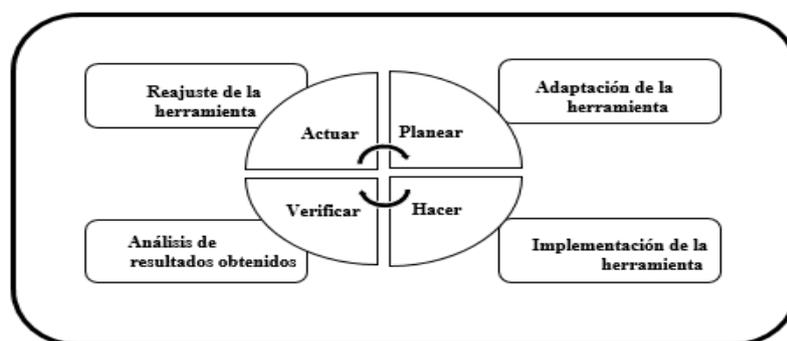
donde:

ISS_i: índice de selección superior de la herramienta i
 W_j: ponderación o importancia del criterio de selección j
 MaxP_{ij}: el mayor valor de evaluación de la herramienta i para el criterio j

Con los límites inferior y superior del índice de selección se conforma un intervalo para cada herramienta posible, comprobándose en cuál intervalo se cumple el valor del ISH_i obtenido, siendo ésta(s) la(s) mejor(es) herramienta(s) a seleccionar para resolver el problema planteado. La implementación de la seleccionada, debe adaptarse a las condiciones específicas de la entidad donde se realiza la aplicación, para ello los autores proponen utilizar un enfoque basado en el ciclo Deming, ⁽¹³⁾ que se puede apreciar en la figura 3.

Los conjuntos de herramientas propuestas a aplicar en cada caso han sido considerados tomando como base las más empleadas, por tanto, esta agrupación no es exhaustiva, dejando lugar a la aplicación de otras que puedan sustentar y apoyar el proceso decisorio, siempre y cuando se domine su funcionamiento y tribute a los objetivos deseados. Es importante destacar que para la aplicación de la tecnología diseñada en cualquier organización y alcanzar los resultados deseados, es indispensable la realización de todas las fases y de los pasos que componen cada una.

Una mayor potencialidad a la tecnología propuesta, la da el desarrollo de diversos sistemas informáticos. Entre éstos, están los que resuelven problemas de decisión multiatributo: EXP-cons, que incluye métodos de expertos mono/multicriterio y técnicas de consenso, jerarquía, que implementa el método Analytic Hierarchy Process y PRESS que ejecuta el método de igual nombre. Estos *softwares* constituyen una ayuda en la práctica a la toma de decisión multicriterio. Una muestra de ello son los trabajos realizados para seleccionar el problema que más afecta al proceso de carga y descarga de buques en una empresa de servicios portuarios ⁽¹⁴⁾ y para ponderar las variables presentes del modelo matemático en el cálculo del indicador confiabilidad operacional. ⁽¹⁵⁾



Fuente. Elaboración propia

Fig. 3. Enfoque Deming para la adecuación de herramienta

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso de la modelación matemática conjuntamente con la tecnología propuesta en este trabajo fue validado en un inicio en la solución de problemas en un restaurante de comida criolla ^(16,17) y en una empresa de servicios de seguridad y protección. ⁽¹²⁾ Posterior a la mejora del procedimiento original, se realizaron nuevas aplicaciones que han permitido corroborar su validez. Seguidamente se hace una breve descripción de un grupo de problemas resueltos, los que han sido seleccionados entre un número significativo de aplicaciones realizadas, con el fin de mostrar la diversidad de éstas y en la tabla 2 aparecen los resultados económicos obtenidos con la solución de los mismos.

- La fábrica de helados Nestlé presentaba altos costos por consumo de combustible en la realización de la distribución, al no contar con una buena conformación de los recorridos de distribución. Se propone diseñar los recorridos de distribución de helados diarios utilizando un algoritmo heurístico.
- Red S.A entidad cubana que ofrece servicio de mantenimiento a los cajeros automáticos en La Habana, presentaba incumplimientos en el indicador de desconexión de la red, necesita obtener la secuencia de visita a los cajeros para dar mantenimiento *in situ* a los mismos a través de la modelación matemática.
- Portales S.A desea lanzar al mercado el producto aguas saborizadas "Ciego Montero" como alternativa de bebida refrescante, analcohólica, no carbonatada y baja en calorías pero desea conocer cómo este producto será recibido por la población. Se utilizan técnicas estadísticas que permiten fundamentar la toma de decisiones.
- Garaje 44 entidad cuentapropista que oferta pizzas y tacos desea abrir un restaurante de comida criolla e internacional para lo cual debe adaptar un local

ya existente, se desea seleccionar el *layout* que brinde los mejores resultados, utilizándose un enfoque simulación-multicriterio. ⁽¹⁸⁾

- El pronóstico de la demanda turística en Pinar del Rio se hace necesario para planificar, tomar decisiones y de este modo integrar las cadenas productivas, pues la actividad turística es una de las mayores actividades socioeconómicas del país. Se elaboran modelos de pronósticos de la demanda con el empleo de series cronológicas. ⁽¹⁹⁾
- La fluctuación laboral es un problema existente en las organizaciones cubanas, no quedando exenta de esto la Organización Superior de Dirección Grupo Empresarial Artemisa. Se diseña y aplica un modelo matemático, basado en ecuaciones estructurales para prever la fluctuación laboral en una entidad del Grupo. ⁽²⁰⁾

Otras aplicaciones relacionadas directamente con la educación y la salud, son las que se relacionan:

La Universidad de Ciencias Informáticas se crea con el objetivo de ser un parque tecnológico capaz de desarrollar *software* para clientes nacionales e internacionales. La conformación de los equipos de trabajos para dar respuesta a la misión es un problema en el que influyen múltiples variables. Para darle solución, se aplica el análisis multivariante de datos los que garantizan una buena conformación de los equipos. ^(5,21) Así mismo, se diseña un sistema informático que basado en reglas permite la conformación de los equipos de trabajos formados por estudiantes y profesores. ⁽²²⁾

Las entidades de salud frecuentemente se encuentran ante la solución de diversos aneurismas entre los que se encuentran los aneurismas de la aorta abdominal. Su clasificación y pronóstico es una tarea que adquiere especial significación. Para su clasificación se propone la utilización de herramientas estadísticas de correlación y análisis paramétrico, entre varias variables. ⁽²³⁻²⁵⁾

Tabla 2. Resultados económicos de los problemas mostrados

Resultados obtenidos			
Problema	Indicador	Antes	Después
1	Viajes / mes para realizar la distribución	4496	3398
	Consumo de combustible (litros/semana)	369	215
	Costo de combustibles (CUC/semana)	9976	7338
	Kilómetros recorridos por semana	263	153
2	% de cantidad de cajeros desconectados al menos 24 horas	0,49	0,19
	Tiempo medio para el cierre de reportes de mantenimientos correctivos (horas)	25,8	21,4
3	Preferencias con el producto	-	80 % de los encuestados están a favor del lanzamiento de esta bebidas
	Características del agua saborizada según preferencias de los encuestados	-	1. Sabores: manzana, uva y fresa. 2. Envase de 500 ml 3. Precio 0,60 CUC
	Cantidad de clientes satisfechos/día	-	392
4	Cientes perdidos/día	-	146
	Tiempo medio de espera (min/cliente)	-	23
	Utilización de los obreros	-	94
	Ingresos (CUC/día)	-	2487
5	Cantidad de turistas pronosticados arriben a Pinar del Río	-	3723
6	Predicción de intención permanencia laboral (%)	-	55,2

Fuente. Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran que la utilización del procedimiento permite a las organizaciones elevar su nivel de desempeño de acuerdo a los indicadores obtenidos. Debe señalarse que la introducción de herramientas matemáticas contribuye a tomar decisiones cualitativamente mejores, lo que corrobora lo planteado por la bibliografía consultada, referente a la importancia de la aplicación de estas técnicas. No obstante, se debe continuar validando el procedimiento descrito con vista a continuar verificando y comprobando que los resultados son los esperados.

Conclusiones

El análisis bibliográfico realizado permitió detectar que los modelos analizados adolecen de una guía que permita seleccionar qué herramienta matemática es la más adecuada utilizar y por ende qué modelo matemático, para resolver el problema.

Se destaca la potencialidad del procedimiento diseñado al integrar las técnicas cuantitativas de toma de decisiones con las de gestión, abarcar 14 herramientas con sistemas in-

formáticos desarrollados y, constituir una guía metodológica de ayuda al analista para decidir cuál(es) técnica(s) matemática(s) cuantitativa(s) emplear en cada caso.

Las aplicaciones realizadas han validado la necesidad y factibilidad del procedimiento propuesto obteniendo mejores resultados en cuanto a clientes satisfechos, ingresos, utilidades, aprovechamiento de las capacidades, entre otros, así como impacto social en las áreas de la salud y la educación superior.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Garza R, González C, Pérez I, Martínez E, Sanler M. Concepción de un procedimiento utilizando herramientas cuantitativas para mejorar el desempeño empresarial. *Revista Ingeniería Industrial*. 2012;33(3): 239-48.
2. Martínez E, Garza R, González C. Tecnología para la aplicación de la investigación de operaciones (versión 3.0). En 18 Convención de Ingeniería y Arquitectura CCIA, EIMA; 2016 Nov 28-Dic 2, La Habana, Cuba.
3. Garza R, Martínez E, González C, Urquiola I. Tecnología de ayuda a la selección de herramientas cuantitativas para la toma de decisiones empresariales. En *International Workshop on Operations Research (IWOR)*; 2017 May 25-26, Universidad de La Habana, Cuba.

4. Vilalta JA. Procedimiento para el diagnóstico de los datos en organizaciones cubanas. Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias técnicas, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE, 2008, La Habana, Cuba.
5. López Y. Análisis multivariante de datos para la conformación de equipos de desarrollo de software. Tesis para optar por el título de Master en Tecnologías cuantitativas para la toma de las decisiones empresariales, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría, CUJAE, 2013, La Habana, Cuba.
6. Terry O. Análisis envolvente de datos en la determinación de la eficiencia de los centros productivos de la universidad de Ciencias Informáticas. Tesis para optar por el título de Master en Tecnologías cuantitativas para la toma de las decisiones empresariales, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría, CUJAE, 2014, La Habana, Cuba.
7. Díaz M. Módulo para la planificación de secuencias de ensamble en el sistema Galba-CAD. Tesis para optar por el título de Master en Tecnologías cuantitativas para la toma de las decisiones empresariales, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría, CUJAE, 2013, La Habana, Cuba.
8. Tamayo A. Procedimiento para la planificación y control de la producción empleando herramientas matemáticas. Tesis para optar por el título de Master en Tecnologías cuantitativas para la toma de las decisiones empresariales, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría, CUJAE, 2015, La Habana, Cuba.
9. Aragonés BP. Técnicas de ayuda a la toma de decisiones en proyectos. Apuntes. Departamento de Proyecto, Universidad Politécnica de Valencia. 2010, España.
10. Garza R, González C, Rodríguez E. Hernández C. Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con Simulación discreta y Técnicas multicriterio. Revista Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. 2016; 22: 19-35.
11. De Lucas JM, De Lucas A, Adams J, Domínguez G. La utilización de técnicas multicriterio para la selección de casos de estudio en ciencias de la administración. Revista Visión de Futuro. 2018;22(2):36-55.
12. Garza R, González C, Rodríguez E. Aplicación del método Scoring para la clasificación de clientes. Revista Ingeniare. 2019;27(3):375-82.
13. Salas R. Uso del ciclo Deming para asegurar la calidad en el proceso educativo sobre las matemáticas. Revista Ciencia UNEMI. 2018;11(27):8-19.
14. Agüero LE, Lavandero J. Rediseño del proceso de carga y descarga de buques empresa SEPOC. En 19 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura CCIA, Simposio de Ingeniería Industrial y Afines; 2018 Nov 26-30, La Habana, Cuba.
15. Díaz A. Tecnología para el análisis de la confiabilidad operacional en sistemas técnicos complejos (Industria de alta tecnología durante la fase de operación-mantenimiento), Tesis doctoral. Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría, CUJAE, 2019, La Habana, Cuba.
16. González C, Garza R, Trujillo I. Determinación del tamaño del pedido en el almacén de un restaurante. Revista Ingeniería Industrial. 2013;34(3):280-92.
17. González C, Garza R, Malo E. Enfoque híbrido Simulación-Proceso analítico jerárquico: caso de estudio del rediseño de un restaurante. Revista Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. 2014;17:23-41.
18. Garza R, Martínez E. Evaluación y selección del layout de una instalación con el empleo de un enfoque híbrido Simulación Mutia-tributo. Revista Visión de Futuro. 2019;23(2):294-311.
19. Fernández R, Vilalta JA, Quintero A, Chávez RM. Indicador sintético mediante el análisis multivariado de la varianza aplicado al sector turístico. Revista Cooperativismo y Desarrollo (COODES). 2020;8(1):68-82.
20. Cruz E, Vilalta J. A. Structural equation model to predict the intention of stay to the local business group. Revista Dyna. 2020;87(213):159-64.
21. López Y, Martínez H, Vilalta JA, Espinosa Y. Minería de Datos Educativos para la inserción de estudiantes en proyectos de desarrollo de software en la UCI: Una revisión. En 17 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, EIMA; 2014 Nov 24-28; La Habana, Cuba.
22. Reyes, Y. B. Sistema basado en reglas para la conformación de los equipos de trabajos en las líneas de investigación formados por estudiantes y profesores. Tesis para optar por el título de Master en Tecnologías cuantitativas para la toma de las decisiones empresariales, Universidad Tecnológica de la Habana José A. Echeverría, CUJAE, 2017, La Habana, Cuba.
23. Pérez MA, Nieto F, Vaquero C, Lipsa L, Pérez P, Vilalta G, Vilalta JA, Soudah E. Morphological classification of abdominal aortic aneurysms (AAA) according to its geometric parameters. The Journal of Cardiovascular Surgery, Abstract Book. 2017; 58, Suppl. 2(3):28.
24. Vilalta G, Vilalta JA, Soudah E, Nieto F, Lipsa L, Pérez MA, López BM, Vaquero C. Statistical Analysis for Rupture Risk Prediction of Abdominal Aortic Aneurysms (AAA) based on its Morphometry. Journal of Mechanics in Medicine and Biology. 2017;17(4).
25. Pérez MÁ, Nieto F, Lipsa L.M, Vaquero C, Vilalta G, Vilalta J. A, Soudah E. Mathematical tool for morphological classification of abdominal aortic aneurysms based on geometric parameters. The Journal of Cardiovascular Surgery. 2018;59, Suppl. 2(3).

Recibido: 08/10/2021

Aprobado: 23/12/2021

Conflicto de intereses

No existe ningún conflicto de intereses entre los autores, ni entre los autores y nuestra institución, ni rivalidades académicas, ni personales entre nosotros, estando todos de acuerdo con el contenido del artículo y con su publicación en la Revista de la Academia de Ciencias de Cuba.

Contribución de los autores

Conceptualización: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
 Curación de datos: José A. Vilalta Alonso
 Análisis formal: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
 Investigación: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
 Metodología: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
 Administración del proyecto: Rosario Garza Ríos
 Recursos: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez

Software: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
Supervisión: Rosario Garza Ríos
Validación: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
Visualización: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
Redacción-borrador-original: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez
Redacción-revisión y edición: Rosario Garza Ríos, Edith Martínez Delgado, José A. Vilalta Alonso, Caridad N. González Sánchez

Financiación

Por este medio queremos expresar que no se ha recibido ningún financiamiento extra para el desarrollo del trabajo.

Cómo citar este artículo

Garza Ríos R, Martínez Delgado E, Vilalta Alonso JA, González Sánchez C. Modelación matemática en la solución de problemas de la producción, los servicios y la salud. An Acad Cienc Cuba [internet] 2022 [citado en día, mes y año];12(2):e1157. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1157>

