

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Matemática computacional
Recibido: 30/06/2021 | Aceptado: 01/10/2021

Implementación de operador OWA en un sistema computacional para la evaluación del desempeño

Implementation of the OWA operator in a computer system for performance evaluation

Omar Mar Cornelio ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-0689-6341>

Bárbara Bron Fonseca ² <https://orcid.org/0000-0001-9463-8408>

¹ Centro de Estudio de Matemática Computacional, Facultad de Ciencias y Tecnologías Computacionales, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana Cuba. Carretera a San Antonio de los Baños km 2 ½ Torrens, Boyeros, Cuba. omarmar@uci.cu.

² Departamento de Informática, Facultad de Ciencias y Tecnologías Computacionales, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana Cuba. Carretera a San Antonio de los Baños km 2 ½ Torrens, Boyeros, Cuba. bbron@uci.cu

*Autor para la correspondencia. (omarmar@uci.cu)

RESUMEN

La evaluación del desempeño representa una medida de la trayectoria de las personas en un período de tiempo. En las instituciones de la Educación Superior de Cuba los profesores son evaluados anualmente. El proceso evaluativo establece, a partir de un conjunto de criterios evaluativos, una propuesta de evaluación. Sin embargo, este proceso es realizado mediante modelos evaluativos previamente definidos lo que dificulta la gestión de la información y la ayuda a la toma de decisiones. Problemas de esta naturaleza han sido abordados en la literatura científica mediante un

enfoque multicriterio. La presente investigación propone una solución a la problemática planteada a partir de la implementación de un operador para la agregación de información codificado en un sistema computacional. El sistema propuesto gestiona el flujo de trabajo del proceso de evaluación, rige el proceso de inferencia mediante el empleo del operador de agregación de información OWA con múltiples selectores. Se obtiene del proceso experimental en un conjunto de evaluaciones que varían su comportamiento a partir del criterio de selección del operador seleccionado.

Palabras clave: Operador de agregación de información; OWA; sistema computacional; evaluación del desempeño.

ABSTRACT

Performance evaluation represents a measure of the trajectory of people over a period of time. In Cuban Higher Education institutions, teachers are evaluated annually. The evaluation process establishes an evaluation proposal based on a set of evaluative criteria. However, this process is carried out using previously defined evaluative models, which makes it difficult to manage information, help decision-making. Problems of this nature have been addressed in the scientific literature using a multi-criteria approach. The present investigation proposes a solution to the problem raised from the implementation of an operator for the aggregation of encoded information in a computer system. The proposed system manages the workflow of the evaluation process, governs the inference process through the use of the OWA information aggregation operator with multiple selectors. It is obtained from the experimental process in a set of evaluations that vary its behavior from the selection criteria of the selected operator.

Keywords: Information aggregation operator; OWA; computer system; performance evaluation.

Introducción

La evaluación del desempeño docente es un procedimiento implementado en la Educación Superior para medir el rendimiento de los profesores (Díaz Cano, 2019). El proceso posee rasgos distintivos para garantizar una evaluación formativa del desempeño docente (Ramos Martínez & Rueda Beltrán, 2020). La evaluación del desempeño permite determinar características personales y la práctica docente de profesores universitarios (Salinas & Martínez, 2018).

El proceso evaluativo utiliza un conjunto de criterios de decisión que en su conjunto integran la evaluación (Raga, 2017), (González Rodríguez & Cardentey García, 2017). Sin embargo, este proceso es realizado mediante modelos evaluativos previamente definidos lo que dificulta la gestión de la información y la ayuda a la toma de decisiones, además, no es posible consultar en tiempo real evaluaciones históricas. La evaluación en el estado actual no permite cuantificar el rendimiento de los trabajadores a partir de diferentes criterios como: Evaluación pesimista, evaluación optimista lo que provoca que los directivos carezcan de herramientas de ayuda en la toma de decisiones oportuna.

La presente investigación tiene como objetivo implementar un operador para la agregación de información codificado en un sistema computacional. Se encuentra estructurada en introducción, metodología computacional, resultados y discusión. La introducción presenta una panorámica sobre el objeto de estudio donde se enmarca la investigación, se presenta preliminarmente las operaciones de agregación de información mediante el operador OWA para la agregación de información. La metodología computacional describe el funcionamiento de operador propuesto. Los resultados presentan la implementación del sistema computacional y es realizado un análisis de los resultados obtenidos mediante la utilización del sistema en un grupo de evaluaciones realizadas.

Preliminares

Los operados de agregación son funciones matemáticas utilizadas en procesos de toma de decisiones (Grau & Grau, 2012) combinan más de un valor en un dominio D y devuelven un valor único. Dentro de los principales operadores para la agregación de información se encuentra la media aritmética y media ponderada (Pérez, 2014), tal como se define a continuación:

Definición 1. Un operador WA es una función $F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ de dimensión n si tiene asociado un vector de pesos V , con $v_i \in [0,1]$ y $\sum_1^n v_i = 1$, expresado de la siguiente forma:

$$WA(a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n v_i a_i \quad (1)$$

Donde v_i representa la importancia de la fuente a_i .

Un operador de agregación de información (OWA *Ordered Weighted Averaging*) por sus siglas en Inglés, Media Ponderada Ordenada propuesto por (Yager, 1988), permite unificar los criterios clásicos de decisión de incertidumbre en una expresión (Filev & Yager, 1998).

Definición 2. Un operador OWA es una función $F: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ de dimensión n si tiene un vector asociado W de dimensión n con $w_j \in [0, 1]$ y $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, de forma tal que:

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (2)$$

donde b_j es el j -ésimo más grande de los a_j .

Cada familia de operadores es utilizada en diferentes contextos. Existen varias formulaciones de operadores de agregación que unifican los operadores WA y OWA combinando las ventajas de ambos (Merigó & Gil, 2010), (David Luis & Julio César, 2014).en

Métodos o Metodología Computacional

Para la presente investigación se empleó el operador (*Ordered Weighted Averaging Weighted Averaging* OWAWA) debido a su elevada flexibilidad (MERIGÓ, 2008), (Mar, I, & Gulín, 2017). Además de unificar los operadores OWA y media aritmética WA, permite reflejar el grado en que se quiere considerar cada uno de ellos.

El autor extiende la definición del operador OWAWA para el trabajo con múltiples funciones por selección en su entrada $\Delta_x\text{-OWAWA}$:

Definición 3. Sea $Odn = (Odn_1, \dots, Odn_n)$ un vector de pesos de dimensión n de forma tal que $\sum_{j=1}^n Odn_j = 1$ y $Odn_j \in [0,1]$, relacionado con el operador WA y α un vector de peso de dimensión n, con una función de configuración ∇x de modo que $\sum_{i=1}^n \alpha_{\nabla x_j} = 1$ y $\alpha_{\nabla x_j} \in [0,1]$, tal que, (Mar, Argota, & Santana, 2016), (Mar, Zulueta, Cruz, & Leyva, 2015):

$$\alpha_{\nabla x} (Odn_1, Odn_2, \dots, Odn_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j, \text{ Conf} \quad (3)$$

donde $\alpha_{\nabla x}$: representa la función resultante influenciada por una función inicial de configuración ∇x para los atributos de Odn_n .

Conf: representa el comportamiento asumido por los W_j, Odn_n a partir de la configuración ∇x .

W_j : vector de pesos de dimensión n influenciado por la función de configuración ∇x de los Odn_n .

b_j : es el j-ésimo influenciado por una función inicial de configuración ∇x de las Preferencias en j.

La función de configuración ∇x , representa una agrupación de criterios clásicos para la toma de decisiones para lo cual se utilizan tres criterios fundamentales y se comporta de la siguiente manera:

Para $\nabla x=1$: representa un estado de optimismo. Esta función es recomendada para los casos donde las prácticas de laboratorios diseñadas no representan alto grado de complejidad y posee alto grado de tolerancia a fallo. El optimismo representa el estado de la naturaleza más favorable, es conocido como máximo y se formaliza tal como muestra la ecuación 4:

$$\text{Decisión} = \text{Max}\{E_i\} = \text{Max}\left[\text{Max}\{a_j\}\right] \quad (4)$$

Para $\forall x=2$: representa el estado Pesimista o de Wald: Propuesto por Wald en 1950 (Wald, 1950), representa el estado de la naturaleza más desfavorable escogido para cada alternativa. Esta función es recomendada para los casos donde las prácticas de laboratorios diseñadas representan alto grado de complejidad y se requiere que las alternativas demuestren alto grado en sus habilidades. Este método se conoce comúnmente como maximin. Se formula tal como muestra la ecuación 5:

$$Decisión = \text{Max}\{E_i\} = \text{Max}\left[\text{Min}\{a_j\}\right] \quad (5)$$

Para $\forall x=3$ representa un estado medio conocido como criterio de Hurwicz. Propuesto por Hurwicz en 1951 (Hurwicz, 1957), se puede considerar como una combinación entre el criterio optimista y el criterio pesimista. Consiste en ponderar un coeficiente de optimismo y otro de pesimismo al mejor y peor caso respectivamente, se suman los dos valores y se escoge aquella alternativa que proporcione un mayor resultado. Se formula tal como muestra la ecuación 6:

$$Decisión = \text{Max}\{E_i\} = \text{Max}\left[\alpha \text{Max}\{a_i\} + (1 - \alpha) \text{Min}\{a_i\}\right] \quad (6)$$

Donde $\alpha + (1 - \alpha) = 1$

Se demuestra que si $\alpha = 1$;

$$Decisión = \text{Max}\left[1 * \text{Max}\{a_j\} + 0 * \text{Min}\{a_j\}\right] = \text{Max}\left[\text{Max}\{a_j\}\right]$$

Entonces decisión = Criterio Optimista.

Si $\alpha = 0$;

$$Decisión = \text{Max}\left[0 * \text{Max}\{a_j\} + 1 * \text{Min}\{a_j\}\right] = \text{Max}\left[\text{Min}\{a_j\}\right]$$

Entonces decisión = Criterio Pesimista.

A partir de la obtención de $\alpha_{\nabla x}$, se mapea el umbral obtenido en la agregación de la información tal que $\alpha_{\nabla x} \in \mathbb{R}, 0 \leq \alpha_{\nabla x} \leq 1$ haciéndose corresponder con los valores lingüísticos expresados en la Figura 1.



Fig. 1 - Variables lingüísticas utilizadas para expresar la evaluación.

Resultados y discusión

Las pantallas del sistema son imágenes tomadas durante el funcionamiento del sistema computacional propuesto, muestran parte de los resultados obtenidos con el desarrollo de esta investigación y permite comprobar el funcionamiento del operador de agregación implementado.

El módulo administración, vista Crear tareas es mostrado en la figura 2, en esta vista son listadas (módulo A) todas las tareas que han sido adicionadas hasta el momento permitiendo realizar acciones sobre ellas como buscar, eliminar y actualizar tareas. Cuenta además con un formulario (módulo B) para adicionar nuevas tareas y asignar el nivel de importancia que posee cada una de estas.



Fig. 2 - Interfaz del módulo administración, vista Crear tareas.

El módulo administración, vista Asignar tareas es mostrado en la figura 3, a través del rol Jefe de departamento donde se habilitan solo las funcionalidades según su permiso dentro del sistema. La figura muestra la vista Asignar tareas que permite asignar una o varias tareas a una persona especificada en un período de tiempo determinado.

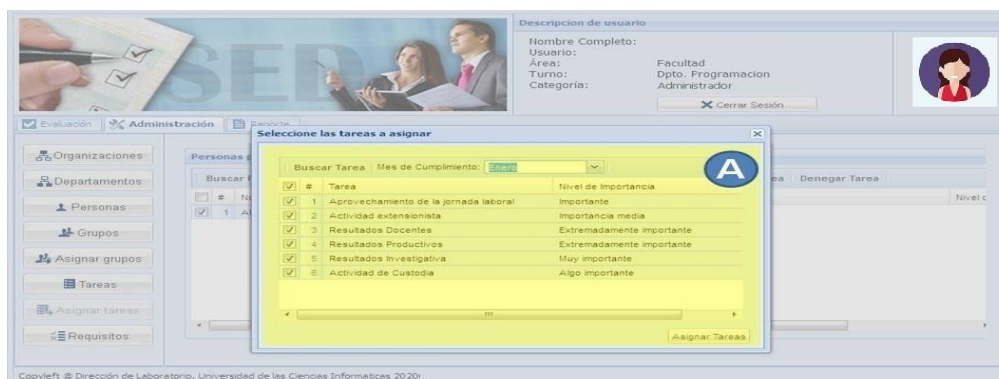


Fig. 3- Interfaz del módulo administración, vista Asignar tarea.

El módulo evaluación, vista Evaluar tareas es mostrado en la figura 4, permite evaluar el cumplimiento de las tareas de un trabajador durante un período de tiempo. Todos los usuarios que sean evaluadores podrán tener acceso a este módulo. Para realizar la evaluación, se elige el mes en el que se va a evaluar al trabajador, posteriormente se evalúan cada una de las tareas.



Fig. 4-Interfaz del módulo evaluación, vista Evaluar tareas.

El módulo evaluación, vista inferir evaluaciones y evaluar persona, es mostrado en la figura 5. Las opciones Inferir o Pre calcular y Evaluación personalizada de la vista Inferir evaluaciones. Una vez evaluadas las tareas de una persona en un mes especificado, utilizando el motor de inferencia propuesto, el sistema es capaz de proponer una evaluación del desempeño como resultado de la inferencia (módulo A). En un proceso de toma de decisiones mediante un sistema informático, el evaluador, una vez obtenida la propuesta emitida por el sistema, debe ser capaz de rechazar la hipótesis calculada por el motor de inferencia en caso de no coincidir con ésta y proponer otra en su lugar, para lo cual selecciona la opción Establecer evaluación personalizada (módulo B) y evalúa al trabajador manualmente.



Fig. 5-Interfaz del módulo evaluación, vista Inferir evaluaciones y Evaluar persona.

Para la implementación del operador de agregación sobre el sistema computacional propuesto, se utiliza como parámetro de entrada los valores los pesos de los indicadores normalizados obtenidos y el conjunto de preferencia obtenido por las alternativas en el proceso de evaluación.

La Tabla 1 registra los valores resultantes de la aplicación del operador de agregación para los tres posible escenarios definidos por el selector $\forall x$; las alternativas representan el conjunto de individuos que participan en el proceso, las preferencias representa la evaluación resultante de los cuestionarios evaluativos resueltos y el selector $\forall x$ define el comportamiento del operador de agregación a partir de los tres criterios definidos en las ecuaciones 6,7 y 8.

Tabla 1 - Resultado del comportamiento del operador.

Alternativa	Preferencia	$\forall x=1$	$\forall x=2$	$\forall x=3$
1	[1;1;1;1;0;0,5;0]	0,69	0,59	0,63
2	[1;1;0;1;1;1;0,5]	0,82	0,74	0,76
3	[1;1;0,5;0;0;0;0]	0,41	0,31	0,38
4	[1;1;1;0,5;0;0;0]	0,55	0,45	0,51
5	[0;0;1;1;1;1;1]	0,75	0,66	0,69

Para el análisis de los resultados se realiza una valoración sobre el comportamiento de los tres escenarios implementados (optimista, pesimista y de Hurwicz) en el operador de agregación.

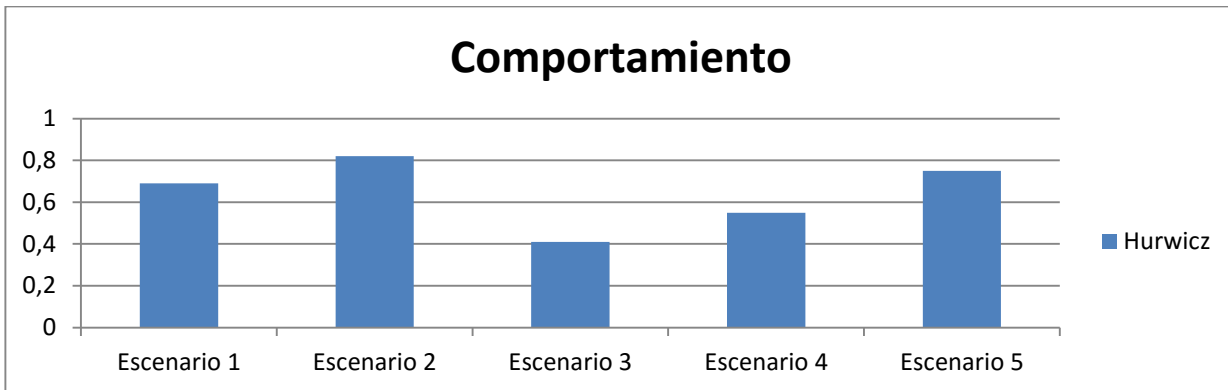


Fig. 6 - Comportamiento Hurwicz.

La Figura 6 presenta el escenario de aplicación 1, donde se utiliza el criterio Hurwicz para el razonamiento en el proceso de toma de decisiones. Para el escenario propuesto, 4 de las alternativas poseen una evaluación profesoral igual o superior a un conocimiento medio.

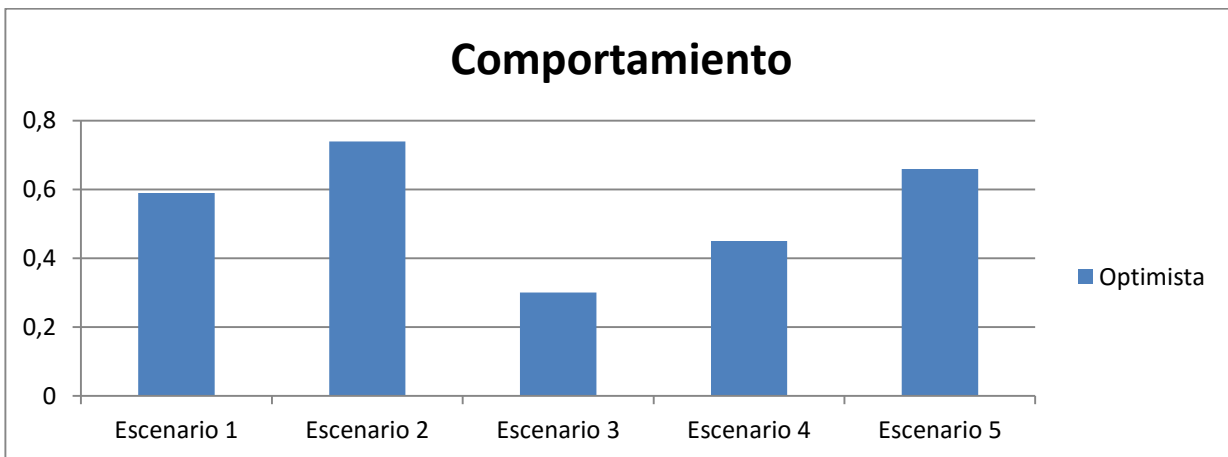


Fig. 7 - Comportamiento optimista.

La Figura 7 presenta el escenario de aplicación 2, donde se utiliza el criterio optimista para el razonamiento en el proceso de toma de decisiones. Para el escenario propuesto, 3 de las alternativas poseen una evaluación profesoral igual o superior a un conocimiento medio.

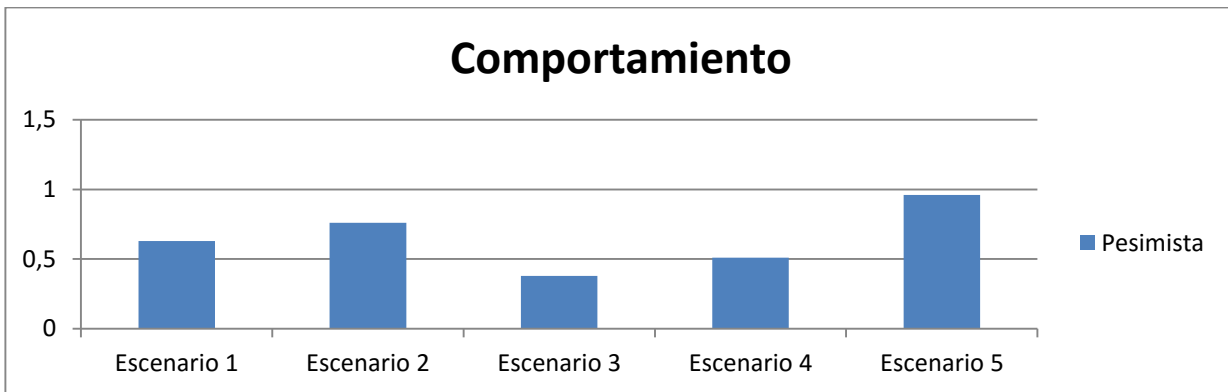


Fig. 8 - Comportamiento pesimista.

La Figura 8 presenta el escenario de aplicación 3, donde se utiliza el criterio pesimista para el razonamiento en el proceso de toma de decisiones. Para el escenario propuesto, 2 de las alternativas poseen una evaluación profesoral igual o superior a un conocimiento bajo.

La tabla 2 muestra el resultado comparativo del comportamiento de los operadores en los diferentes criterios de evaluación.

Tabla 2 - Resultado del comportamiento del operador.

Valor	Etiqueta Lingüística	$\nabla x=1$	$\nabla x=2$	$\nabla x=3$
0; 0,24	Muy Bajo	0	0	0
0,25 ; 0,49	Bajo	1	2	1
0,49; 0,74	Medio	2	3	3
0,75 ;0,99	Alto	2	0	1
1	Muy Alto	0	0	0

La tabla 2 presenta un resumen del comportamiento de las habilidades de las alternativas según el comportamiento asumido por el operador de agregación. Para $\nabla x=1$ responde a la naturaleza más favorable, este escenario es recomendado cuando se quiere que los individuos que intervienen en un proceso de toma de decisiones sean favorecidos. Para $\nabla x=3$ representa un estado que responde a un comportamiento similar a la realidad. Por otra parte para $\nabla x=2$ representa la naturaleza más desfavorable.

Si se quiere que los individuos que intervienen en un proceso de toma de decisiones ganen confianza en sí mismo, la aplicación de un proceso de selección en un estado optimista ayudaría en este sentido, la tabla 2 que refleja el escenario 1 muestra que 4 de las alternativas poseen evaluación satisfactoria y 2 de ellas son evaluados de alto. Si por el contrario se quiere que los individuos tengan objetivos más retadores y se incentive la superación continua la aplicación de un estado pesimista contribuiría a fomentar nuevos desafíos, la tabla 2 para el escenario 2 muestra que 2 de las alternativas poseen evaluación de bajo y 3 de ellos son evaluados de medio.

Conclusiones

La aplicación del operador en la evaluación de habilidades, permitió la incorporación de varios criterios para la toma de decisiones, los cuales se aplican en función del escenario deseado. Se demostró experimentalmente que el comportamiento asumido por el operador, determina el resultado de la evaluación aplicada.

El sistema computacional implementado permitió la gestión del flujo de información del proceso de evaluación profesoral guiado por un sistema de apoyo a la toma de decisiones mediante operadores de agregación de información OWA.

Referencias

- David Luis, L. R. M., & Julio César, A. (2014). Revisión de Operadores de Agregación. *Campus Virtuales*, Vol.2 (No.3), 24-44. Retrieved from <http://oaji.net/articles/2015/2374-1440687124.pdf>
- Díaz Cano, F. (2019). La evaluación obligatoria del desempeño docente y su sentido para el profesorado de telesecundarias: entre el temor, control y sometimiento. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 9(18), 423-455. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74672019000100423
- Filev, D., & Yager, R. (1998). On the issue of obtaining OWA operator weights. *Fuzzy Sets and Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, Vol. 94 (No.2), 157-169.
- González Rodríguez, R., & Cardentey García, J. (2017). Evaluación profesoral en docentes del Policlínico Universitario Raúl Sánchez Rodríguez. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 21(3), 422-431. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552017000300014
- Grau, I., & Grau, R. (2012). Aplicación de sistemas neuroborrosos a problemas de resistencia antiviral del VIH. *RCCI*, Vol.6(No2).
- Hurwicz, I. A., K.J. (1957). Gradient Methods for Constrained Maxima.
- Mar, O., Argota, L., & Santana, I. (2016). Módulo para la evaluación de competencias a través de un Sistema de Laboratorios a Distancias. *RCCI*, Vol.10(No.2), 132-147. Retrieved from [http://rcci.uci.cu/index.php?journal=rcci&page=article&op=view&path\[\]=1211&path\[\]=425](http://rcci.uci.cu/index.php?journal=rcci&page=article&op=view&path[]=1211&path[]=425)
- Mar, O., I, S., & Gulín, J. (2017). Competency assessment model for a virtual laboratory system and distance using fuzzy cognitive map. *REVISTA INVESTIGACION OPERACIONAL*. Retrieved from <http://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/38217/38217-07.pdf>
- Mar, O., Zulueta, Y., Cruz, M., & Leyva, M. (2015). Motor de inferencia decisional en sistema informático para la evaluación del desempeño. *RCCI*, Vol.9(No.4), 16-29. Retrieved from [http://rcci.uci.cu/index.php?journal=rcci&page=issue&op=view&path\[\]=37](http://rcci.uci.cu/index.php?journal=rcci&page=issue&op=view&path[]=37)
- MERIGÓ, J. (2008). New extensions to the OWA operators and its application in decision making. *phD Thesis, Departamento de Administración, Universidad de Barcelona*.

- Merigó, J., & Gil, A. (2010). New decision-making techniques and their application in the selection of financial products. *Information Sciences, Vol.180* (No.11), 2085-2094.
- Pérez, K. (2014). *Modelo de proceso de logro de consenso en mapas cognitivos difusos para la toma de decisiones en grupo*. (Tesis Doctoral).
- Raga, M. G. (2017). La evaluación profesoral en la educación médica superior. *MULTIMED, 16*(1), 1-3. Retrieved from <http://www.revmultimed.sld.cu/index.php/mtm/article/view/509/830>
- Ramos Martínez, L., & Rueda Beltrán, M. (2020). Rasgos distintivos de las evaluaciones formativas para el desempeño docente. *Perfiles educativos, 42*(169), 144-159. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982020000300144
- Salinas, J. O. G., & Martínez, G. M. F. (2018). Características personales y práctica docente de profesores universitarios y su relación con la evaluación del desempeño. *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa, 11*(2), 9-33. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6669444.pdf>
- Wald, A. (1950). *Statistical Decision Functions* Wiley, New York.
- Yager, R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, Vol. 18* (No. 1), 183-190.

Conflicto de interés

El autor autoriza la distribución y uso de su artículo.

Contribuciones de los autores

1. Conceptualización: Omar Mar Cornelio.
2. Curación de datos: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca
3. Análisis formal: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca
4. Investigación: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca
5. Metodología: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca
6. Administración del proyecto: Omar Mar Cornelio
7. Recursos: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca

8. Software: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca
9. Supervisión: Omar Mar Cornelio
10. Validación: Barbara Bron Fonseca
11. Visualización: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca
12. Redacción – borrador original: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca
13. Redacción – revisión y edición: Omar Mar Cornelio, Barbara Bron Fonseca