

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL CONSENSO EN LA TOMA DE DECISIONES

PROCEDURE TO DETERMINE CONSENSUS IN DECISION-MAKING

Yankiel Blanco Zamora ^{1,♦}, Yaniris Blanco Zamora²

RESUMEN

Este artículo propone un procedimiento para arribar a un consenso cuando un grupo de expertos tiene preferencias relativamente homogéneas, sobre indicadores de importancia de los criterios “pesos” que evalúan las alternativas aplicadas; y es posible estimar el comportamiento o los resultados después de implementar cada alternativa. Estos “pesos” están relacionados con la posición de cada criterio en un ranking de importancia; por tanto, cuando se halla el consenso, éste puede interpretarse como el ranking consensuado por el grupo. La novedad en este procedimiento radica en que asume que el consenso puede no existir (el grupo puede no tener preferencias relativamente homogéneas); analizando simultáneamente el nivel de consistencia de cada uno de los “expertos” para que el procedimiento no fuerce el consenso. El procedimiento propuesto es presentado en un caso de estudio donde se utilizó la simulación para conocer los posibles resultados de implementar cada alternativa; lo que permitió evaluar matemáticamente las alternativas y romper con la forma clásica de evaluar las alternativas directamente por los expertos; y como resultado se logró mejorar la calidad del servicio de atención al cliente.

Palabras claves: Consenso, toma de decisiones, consistencia, simulación, grupo de expertos

ABSTRACT

This article proposes a procedure to reach a consensus when a group of experts has relatively homogeneous preferences, on indicators of the importance of the criteria "weights" that evaluate the applied alternatives; and it is possible to estimate the behavior or the results after implementing each alternative. These "weights" are related to the position of each criterion in

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias Empresariales, Universidad de Artemisa, Artemisa, Cuba. orcid.org/0000-0002-3457-9845

²Profesora de PID, Universidad de Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.

♦Autor para correspondencia: yankiel.blanco@uart.edu.cu

an important ranking; therefore, when consensus is found, it can be interpreted as the ranking agreed by the group. The novelty in this procedure is that it assumes that the consensus may not exist (the group may not have relatively homogeneous preferences); simultaneously analyzing the level of consistency of each of the "experts" so that the procedure does not force consensus. The proposed procedure is presented in a case study where simulation was used to find out the possible results of implementing each alternative; what allowed to evaluate mathematically the alternatives and break with the classic way of evaluating the alternatives directly by the experts; and as a result, it was possible to improve the quality from the client service.

Keywords: Consensus, group, decision-making, consistency, simulation, expert group.

INTRODUCCIÓN

Existen muchos métodos para la toma de decisiones, estos se clasifican en monocriterio y multicriterio; y dentro de los métodos multicriterio se encuentran los métodos multi-objetivos y los multi-atributos. De acuerdo con Zamani-Sabzi *et al.* (2016), Vulević y Dragović (2017), los métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM) más utilizados son: AHP, ELECTRE, PROMETHEE y TOPSIS, entre otros. Recientemente los MCDM se han fusionado con sistemas de apoyo a la toma de decisiones (Mannina *et al.*, 2019); y/o combinan el método AHP con simulación para lograr la selección de la mejor alternativa de solución en el problema planteado (Le Pira *et al.*, 2017; Gao *et al.*, 2018; Shahsavari & Khomehchi, 2018). Esto se debe a que una de las ventajas de la simulación es que transfiere procesos reales dentro de un ambiente virtual donde el tiempo puede ejecutarse mucho más rápido que el tiempo real. Esta característica permite imitar rápidamente diferentes soluciones propuestas (Vavřík *et al.*, 2017), lo que la convierte en el instrumento preferido para el análisis y evaluación de operaciones en el transcurso del tiempo (Miodrag *et al.*, 2016) y en una valiosa herramienta de apoyo en la toma de decisiones (Lang *et al.*, 2017).

Los MCDM referidos cuando utilizan a más de un experto solo determinan la concordancia del grupo; al respecto Dajani *et al.* (1979) plantean que el consenso carece de significado si no existe consistencia en los juicios emitidos individualmente (Dajani *et al.*, 1979). Sin embargo, incorporar características del método Delphi permite evitar influencias sociales como personalidades dominantes o ser presionados para ajustarse a lo percibido por la mayoría (von der Gracht 2012; Le Pira *et al.*, 2017; Roßmann *et al.*, 2017), factores que pueden influir en la consistencia de los juicios de cada experto.

Debido a la inexistencia de procedimientos que analicen exhaustivamente el proceso de toma de decisiones en grupo, el procedimiento propuesto tiene en cuenta que para que exista un resultado confiable, los expertos deben arribar a un consenso sin que esto implique grandes contradicciones en los juicios individuales. Inspirado en los métodos Delphi y Kendall, se propone un procedimiento para arribar a un consenso cuando un grupo de expertos tiene preferencias relativamente homogéneas, sobre indicadores de importancia de los criterios "pesos". Estos "pesos" están relacionados con la posición de cada criterio en un ranking

de importancia. Por tanto, cuando se halla el consenso, éste puede interpretarse como el ranking consensuado por el grupo de los criterios de acuerdo con su importancia. La novedad en este procedimiento radica en que asume que el consenso puede no existir (el grupo puede no tener preferencias relativamente homogéneas); analizando simultáneamente el nivel de consistencia de cada uno de los “expertos” (miembros del grupo) y el nivel de concordancia del grupo para que el procedimiento no fuerce el consenso. El procedimiento propuesto es aplicable en cualquier tipo de empresa, ya sea de producción o servicios, siempre que el problema permita ser estructurado y se conozcan o se puedan estimar el comportamiento o los resultados de cada alternativa.

El objetivo de este artículo es informar acerca de la introducción de un nuevo procedimiento de toma de decisiones analizado mediante un estudio de caso, en una sucursal de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. (ETECSA) que deseaba mejorar la calidad del servicio de atención al cliente. Planteándose como hipótesis que la implementación de procedimientos para la toma de decisiones incrementa la calidad en la atención de los clientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron los procedimientos de Tamošaitienė *et al.* (2017) y Martínez Delgado *et al.* (2018) que reflejan el método científico de solución de problemas; siendo utilizados en la selección de proveedores logísticos y para determinar los recursos en un banco respectivamente. Se complementaron los métodos para permitir la sinergia entre MCDM y modelación matemática. Después de realizar un análisis de los mismos y enfocándose en el problema en cuestión, se decidió utilizar los siguientes pasos:

- Delimitación del problema y definición de las metas u objetivos a alcanzar;
- Selección de los criterios de evaluación de calidad;
- Búsqueda y análisis de la información disponible del proceso;
- Diseño y validación del modelo del proceso;
- Diseño y simulación de las alternativas de solución;

A estos pasos se añadió el procedimiento propuesto en la siguiente sección.

PROCEDIMIENTO PROPUESTO

El procedimiento propuesto está diseñado para utilizarse cuando se conocen los posibles resultados a alcanzar después de haber implementado cada posible alternativa de solución. Para esto, se realizó una estimación del impacto que puede tener la implementación de cada alternativa de solución en el proceso. Con este fin, se ha recurrido a la utilización de la simulación como herramienta de apoyo en la toma de decisiones; ya que si se conoce el funcionamiento de un determinado proceso, es posible predecir su comportamiento.

Paso 1: Se asignó pesos a los criterios de evaluación de calidad elaborando un ranking de relevancia:

Suponiendo que se tienen (n) cantidad de expertos, se le solicitó a cada experto que elabore un ranking de importancia desde el más importante hasta el menos importante.

Suponiendo que se tienen (m) cantidad de criterios, el investigador al criterio menos importante le asignó 1 punto, al siguiente 2 puntos hasta que al criterio más importante se le asignó m puntos. Elaborando una matriz de n expertos y m criterios anotando la puntuación correspondiente de cada experto para cada criterio (k_{ij}) $\forall (i=1,2,3,\dots,m) \wedge (j=1,2,3,\dots,n)$. De esta forma se ha considerado que los pesos de los criterios fueron el resultado de su ordenamiento; sin embargo, este método además permitió sustituir los pasos 1.1 y 1.2 si se le pide al experto que asigne directamente pesos a los criterios dada una escala.

Posteriormente se normalizó la puntuación asignada a los valores (k_{ij}) de la matriz mediante la Ecuación 1 (Aşchilean *et al.*, 2017).

$$\bar{k}_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sum_{i=1}^m (k_{ij})} \quad (1)$$

La discordancia total (σ_t) entre los expertos estuvo dada por la desviación estándar total según lo planteado por Hillier y Lieberman (2010). (Ecuación 2)

$$\sigma_t = \sqrt{\sum_{i=1}^m (\sigma_i^2)} \quad (2)$$

Donde:

$$\sigma_i = \left(\frac{b - a}{6} \right) \quad (3)$$

(b =mayor \bar{k}_{ij}) (a = menor \bar{k}_{ij}) $\forall (j=1,2,3,\dots,n)$

σ_i : Desviación estándar del criterio i

σ_t : Desviación estándar total

Para realizar este planteamiento, ya que \bar{k}_{ij} es una variable aleatoria continua que toma valores en el intervalo de 0 a 1, la función de probabilidad más asociada para este propósito es la distribución Beta (Freund *et al.*, 1996). Por tanto, se supone que:

Suposición 1: La distribución de probabilidad de \bar{k}_{ij} es (al menos aproximadamente) una distribución Beta (Hillier & Lieberman, 2010).

Suposición 2: La dispersión entre a y b es de 6 desviaciones estándar, es decir $6\sigma_i = b - a$. En consecuencia, se obtiene la Ecuación 3 (Hillier & Lieberman, 2010).

El porcentaje de concordancia total va a estar dada por la Ecuación 4:

$$PC_t = (1 - \sigma_t) \times 100 \quad (4)$$

El algoritmo de cálculo garantiza que $\sigma_t \leq 0,1$; esto implica que para que sea concordante debe ser (al menos) menor que 0,05 ; garantizando que $PC_t > 95\%$.

Se repitió la encuesta a los expertos haciéndoles saber los resultados de las encuestas de los otros expertos, pero sin revelar la identidad de los mismos hasta que existió concordancia total.

Después de lograr que hubiera concordancia entre los expertos, el peso (w_i) de cada criterio se calculó a partir de la media de la puntuación normalizada de cada criterio, esta Ecuación 5 ha sido utilizada por Aşchilean *et al.*, 2017.

$$w_i = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n \bar{k}_{ij} \quad (5)$$

Se calculó la consistencia en el criterio de cada experto: Suponiendo que se tienen (x) cantidad de rondas, la consistencia se determinó mediante el análisis de la variabilidad en los criterios emitidos por el mismo experto en cada ronda de encuestas a partir de la segunda ronda. De tal forma que al analizar la variabilidad en el criterio del experto (n) en la ronda (x), se tuvo en cuenta el criterio emitido por el mismo en las rondas anteriores. Por tanto: El cálculo de la consistencia en el criterio de cada experto, se realizó desarrollando una matriz de (x) rondas de encuestas realizadas y (m) criterios con los resultados de las encuestas realizadas a cada experto. Esto generó una matriz de consistencia para cada experto, evaluando las ecuaciones (1, 2, 3 y 4) aplicando los mismos principios que para el cálculo de la concordancia. Posteriormente se calculó el porcentaje de consistencia promedio (PC_p) mediante la siguiente expresión:

$$PC_p = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n PC_j \quad (6)$$

Donde:

n : Cantidad de expertos

PC_j : Porcentaje de consistencia del experto j

PC_p : Porcentaje de consistencia promedio

Para garantizar una confiabilidad aceptable en el cálculo de la concordancia, el porcentaje de consistencia promedio debe ser (al menos) mayor al 95%.

Paso 2: Se asignó una puntuación a los valores esperados de (k_{ji}) obtenidos mediante la simulación de las alternativas (A_j) según su indicador de calidad.

Para poder aplicar este paso, se modeló el proceso en el software de simulación Arena, con el principal objetivo de intencionalmente modificar las variables que componen el modelo del proceso acorde a la alternativa que se desee simular para determinar su posible comportamiento. En este proceso de simulación, cada criterio evaluado en el paso anterior se convirtió en un indicador, del cual se determinó su comportamiento real (actual) y su posible comportamiento después de implementar cada alternativa de solución planteada.

Después de validar el modelo del proceso diseñado y simular todas las alternativas de solución se obtuvo una matriz de (z) alternativas y (m) criterios. Donde cada valor (k_{ij}) \forall ($i=1,2,3,\dots,m$) \wedge ($j=1,2,3,\dots,z$) ; se comparó con el valor de referencia de cada criterio (R_i). El valor

de k_{ij} representa el comportamiento esperado de la alternativa j en el criterio i ; mientras que el valor de referencia R_i es valor real (actual) que presenta el criterio i ; además cada criterio debe de tener un indicador de calidad.

Se asignó la puntuación a los valores esperados de (k_{ij}) según su indicador de calidad: De tal forma que, cuando el indicador de calidad se comportaba favorablemente $k_{ij} > R_i$ entonces los valores esperados de normalizado están dados por la Ecuación 7.

$$\bar{k}_{ij} = \left[\left(k_{ij} * 100 \right) / R_i \right] - 100 \tag{7}$$

Cuando el indicador de calidad se comportaba $k_{ij} < R_i$ entonces \bar{k}_{ij} están dados por la Ecuación 8.

$$\bar{k}_{ij} = 100 - \left[\left(k_{ij} * 100 \right) / R_i \right] \tag{8}$$

Paso 3: Se elaboró Ranking de Alternativas:

Después de obtener los pesos de cada criterio (w_i) y la puntuación normalizada de cada alternativa (\bar{k}_{ij}), se determinó la puntuación para cada alternativa (A_j) mediante la suma ponderada; esta Ecuación 9 ha sido utilizada por Aşchilean *et al.*, (2017)

$$A_j = \sum_{i=1}^m \left(\bar{k}_{ij} \times w_i \right) \tag{9}$$

Donde:

w_i : Peso del criterio

\bar{k}_{ij} : Valor normalizado de la alternativa en el criterio

Sin embargo, para poder utilizar la Ecuación 9 primero fue necesario establecer el nivel de calidad de cada \bar{k}_{ij} utilizando una escala cualitativa. A partir de lo expuesto por González González y Garza Ríos (2003) y los valores para \bar{k}_{ij} se propuso la escala que se muestra en la Tabla 1, con esto los valores se han puesto en una misma escala para posteriormente utilizar la función de valor ordinal propuesta.

Tabla 1. Niveles de calidad

\bar{k}_{ij}	Escala	Puntuación
>30	Excelente	3
15 y 30	Muy Bien	2
0 y 15	Bien	1
-5 y 0	Aceptable	0
-15 y -5	Mal	-1
-30 y -15	Muy Mal	-2
<-30	Pésimo	-3

Se elaboró el ranking de alternativas con los valores de A_j ; siendo la alternativa de mayor A_j

la mejor alternativa a implementar.

DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO DE CASO

La aplicación de este procedimiento se realizó como estudio de caso, sucursal de ETECSA que radica en el municipio de San Cristóbal, provincia de Artemisa, Cuba. En esta sucursal la calidad del servicio está siendo afectada debido a los clientes debían permanecer durante prolongados períodos de tiempo en la cola (aproximadamente 35 minutos). El sistema está compuesto por cuatro servidores (empleados) que trabajan una jornada laboral de 8 horas y atienden por orden de llegada del cliente.

El modelo del proceso que se describe es el de un sistema de cola básico como se muestra en la Figura 1 con varios servidores, donde las variables que definen el proceso son: el intervalo de tiempo entre arribos de clientes (T_c) y el tiempo de demora en la ejecución del servicio (T_s).

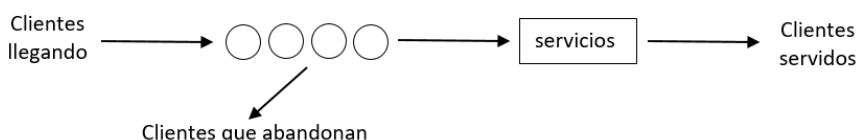


Figura 1. Sistema de cola básico

El problema planteado fue estructurado en: meta, criterios y alternativas según lo propuesto por Saaty (1990) como se muestra en la Figura 2.

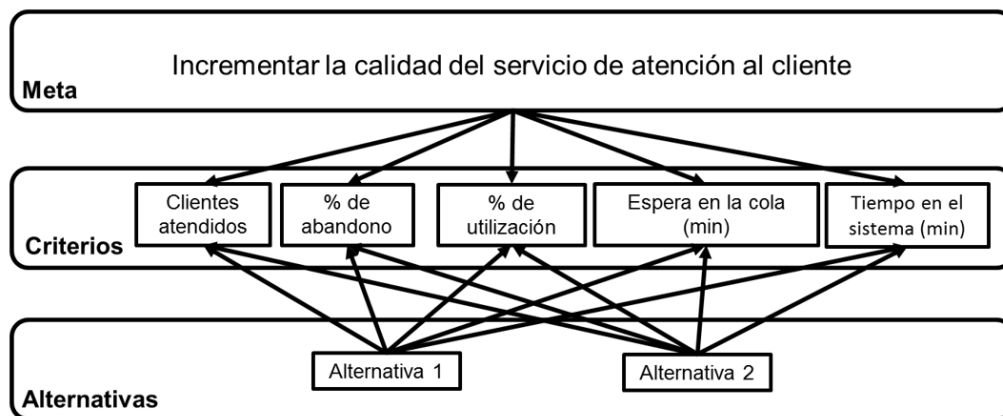


Figura 2. Estructura del problema

Para determinar cómo se comporta el proceso, se analizó el registro histórico de las operaciones realizadas en un trimestre con la aplicación de técnicas de análisis estadísticos, el empleo de contrastes no paramétricos de Kolmogorov–Smirnov, del software SPSS; determinándose que T_c sigue una distribución de Poisson con media de 4 minutos y T_s sigue una distribución Normal con media de 18 minutos y desviación típica de 10 minutos.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

RESULTADOS

Al modelar el proceso en el software Arena 15.0 con la utilización de los resultados obtenidos en el análisis estadístico, se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla 2 para los cinco criterios que con anterioridad se definieron para realizar el análisis en la selección de la mejor alternativa.

Tabla 2. Criterios de evaluación de calidad

Criterios de evaluación de calidad		Real(R_i)
A	Clientes atendidos	101
B	% de abandono	17
C	% de utilización	97
D	Espera en la cola (min)	34
E	Tiempo en el sistema (min)	51

Después de obtenido el comportamiento real de cada criterio, se modificaron las variables del modelo acorde a las especificaciones de cada alternativa. La Alternativa 1 (A_1) consiste en incrementar en una hora diaria el tiempo de atención al cliente; esto significa ampliar la longitud de la replicación de 8 a 9 horas. La Alternativa 2 (A_2) consiste en incrementar la cantidad de servidores al sistema; por lo que es necesario además determinar cuál es la cantidad óptima de servidores que se deben agregar. Dadas las características del modelo del proceso y las alternativas propuestas, el modelamiento matemático en un entorno de simulación como el software Arena es ideal para determinar la cantidad “óptima” de recursos necesarios (Martínez *et al.*, 2018). Los resultados de la simulación de ambas alternativas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores esperados de (k_{ij}) obtenidos mediante la simulación de las alternativas (A_j)

Criterio (C)	R_i	A_1	A_2
A	101	115	114
B	17	16	6
C	97	98	88
D	34	38	5
E	51	55	23

Para determinar la cantidad óptima de servidores que se deben agregar en la Alternativa 2, se simuló el proceso sumándole 1, 2 y 3 servidores al sistema. Teniendo en cuenta que, en la simulación del proceso, el incremento de servidores provocó que el porcentaje de utilización disminuyera considerablemente mientras que no ocurrió así con el tiempo de espera en la cola y el resto de los criterios; determinándose que es suficiente con agregar un servidor al sistema.

Del Paso 1: Una vez obtenido estos resultados se aplicó el procedimiento propuesto en la metodología para comparar las alternativas, los resultados de las encuestas a los expertos

se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Pesos de cada criterio

	Ronda 1					Ronda 2				
C	E1	E2	E3	E4	E5	E1	E2	E3	E4	E5
A	1	5	3	3	5	5	5	5	4	5
B	2	3	4	1	3	1	3	3	2	3
C	4	1	2	5	1	2	2	2	3	1
D	3	2	5	4	4	4	4	4	5	4
E	5	4	1	2	2	3	1	1	1	2

Después de obtener los pesos que cada experto otorgó a cada criterio, se normalizaron y se calculó la concordancia entre los expertos, la normalización de la puntuación asignada mediante la ecuación 1 se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Puntuación normalizada

	Ronda 1					Ronda 2				
C	E1	E2	E3	E4	E5	E1	E2	E3	E4	E5
A	0,0667	0,3333	0,2000	0,2000	0,3333	0,3333	0,3333	0,3333	0,2667	0,3333
B	0,1333	0,2000	0,2667	0,0667	0,2000	0,0667	0,2000	0,2000	0,1333	0,2000
C	0,2667	0,0667	0,1333	0,3333	0,0667	0,1333	0,1333	0,1333	0,2000	0,0667
D	0,2000	0,1333	0,3333	0,2667	0,2667	0,2667	0,2667	0,2667	0,3333	0,2667
E	0,3333	0,2667	0,0667	0,1333	0,1333	0,2000	0,0667	0,0667	0,0667	0,1333

Como resultado de aplicar los pasos, los expertos estuvieron de acuerdo en un 95,84% en la segunda ronda, esto significa que los expertos están de acuerdo con un margen mínimo. En esta dirección, el Coeficiente de Concordancia de Kendall (Kendall W) propuesto por von der Gracht (2012) para analizar la concordancia de un grupo de expertos, utilizando el software estadístico Minitab 17; *Kendall W*=0,8 se obtienen la misma misma conclusión. Los pesos de cada criterio y la concordancia en cada ronda se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Orden asignado y concordancia calculada

Ronda 1		Ronda 2	
Ranking	W	Ranking	W
D	0,2400	A	0,3200
A	0,2267	D	0,2800
E	0,1867	B	0,1600
B	0,1733	C	0,1333
C	0,1733	E	0,1067
<i>PC_F</i> =90,97%		<i>PC_F</i> =95,84%	

En cuanto a la confiabilidad de los resultados, la consistencia de los expertos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Porcientos de consistencia en la Ronda 2

Ronda 2					
E1	E2	E3	E4	E5	PC_p
94,33%	95,84%	97,28%	96,86%	100%	96,86%

Ya que tanto la concordancia entre los expertos como la consistencia promedio de los mismos en la última ronda se encuentra por encima del 95%, se puede afirmar que los expertos están de acuerdo y los pesos calculados de cada criterio son un resultado confiable. No obstante, considerando que PC_t debe ser mayor a , los resultados de la Tabla 7 indican que los juicios emitidos por los expertos E2 y E4 fueron muy variables y el Experto 1 fue inconsistente. En futuras investigaciones, se debería profundizar con respecto al valor de referencia planteado, ya que este aspecto se perfila como una debilidad del procedimiento propuesto.

Del Paso 2: Utilizando simulación se obtuvo un estimado de los resultados que se pueden alcanzar implementando cada alternativa de solución; por lo que normalizando estos resultados para que todos los criterios se comporten de la misma forma, el comportamiento real de los resultados de la simulación, el peso y el indicador de calidad de cada criterio, se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Indicador de calidad para cada criterio

Criterios	R_i	A_1	A_2	W_i	Indicador
A	101	115	114	0,3200	>
D	34	38	5	0,2800	<
B	17	16	6	0,1600	<
C	97	98	88	0,1333	>
E	51	55	23	0,1067	<

Al normalizar la puntuación de los valores esperados de k_{ij} mediante las ecuaciones (7) y (8) según corresponde, se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Puntuación de los valores esperados de

Criterios	R_i	A_1	A_2	W_i
A	101	1	1	0,3200
D	34	-1	3	0,2800
B	17	1	3	0,1600
C	97	1	-1	0,1333
E	51	-1	3	0,1067

Paso 3: Al elaborar el ranking de las alternativas mediante la Ecuación (9) de suma ponderada se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Ranking de Alternativas

Ranking	Puntaje
A_2	1,83
A_1	0,23

Como respuesta al caso de estudio, se plantea que la mejor alternativa es incrementar en 1 la cantidad de empleados. En este caso de estudio, la respuesta se hace evidente en las Tablas 3 y 8, porque sólo se analizan dos alternativas; sin embargo, si la cantidad de alternativas es mayor, sería necesario utilizar algún procedimiento como el propuesto.

DISCUSIONES

Ante la inexistencia de procedimientos que abarquen exhaustivamente el proceso de construcción de consenso para la toma de decisiones en grupo, se ha confirmado la hipótesis planteada en la investigación; es decir: la implementación del procedimiento propuesto para la toma de decisiones permite incrementar la calidad en la atención de los clientes de ETECSA.

Mediante el procedimiento propuesto se rompe con la forma clásica de toma de decisiones, donde las alternativas son evaluadas directamente por los expertos. Al evaluar las alternativas mediante un análisis matemático de los resultados esperados, adquiere fortaleza al análisis realizado y brinda certeza en las conclusiones arribadas. Este elemento constituye un importante apoyo en la toma de decisiones, ya que los MCDM tradicionales evalúan las alternativas basándose en la experiencia de expertos; y el empleo de un modelo matemático demostró la reducción de la incertidumbre, además de economía de tiempo en la toma de decisiones. Sin embargo, experimentar con un modelo matemático no elimina la incertidumbre por completo, pero es más económico que experimentar con la realidad.

Una limitante del procedimiento propuesto es que solo es aplicable cuando se puede estimar mediante un modelo matemático el comportamiento o los resultados de cada alternativa.

Como en otros procedimientos tales como Kendall W o Delphi, estimar el valor de referencia adecuado para determinar si el grupo está de acuerdo o no, constituye una debilidad que debería ser abordada.

CONCLUSIONES

El nuevo procedimiento propuesto es útil en la toma de decisiones cuando se involucra a un grupo de expertos para mejorar la calidad del servicio de atención al cliente. Como novedad de este procedimiento, se asume que el grupo puede no tener preferencias relativamente homogéneas; analizando simultáneamente el nivel de consistencia de cada uno de los "expertos" (miembros del grupo) para que el procedimiento no fuerce el consenso.

La combinación de la simulación con MCDM, permite a los expertos involucrados evaluar el nivel de importancia de cada criterio "peso"; mientras que la contribución de cada alternativa a cada criterio y a la función de utilidad propuesta, es evaluada mediante diversas técnicas matemáticas.

Por el resultado obtenido con la aplicación del procedimiento propuesto en el estudio de caso, se determinó que la mejor alternativa para disminuir el tiempo de espera en la cola y

aumentar la calidad del servicio, es incrementar la cantidad de servidores (empleados).

Mediante el procedimiento propuesto, se rompe con la forma clásica de toma de decisiones. Al evaluar las alternativas mediante un análisis matemático de los resultados esperados, adquiere fortaleza al análisis realizado y brinda certeza en las conclusiones arribadas, como apoyo en la toma de decisiones, si bien el procedimiento solo es aplicable al estimar mediante un modelo matemático el comportamiento o los resultados de cada alternativa.

REFERENCIAS

AȘCHILEAN, I., BADEA, G., GIURCA, I., SEBASTIAN, G. y GEORGE, F. (2017). Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems using the AHP method. *Energy Procedia* [en línea], 112(October 2016), 19–26. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1109>

DAJANI, J. S., SINCOFF, M. Z. y TALLEY, W. K. (1979). Stability and agreement criteria for the termination of Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change* [en línea], 13(1), 83–90. Disponible: [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(79\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0040-1625(79)90007-6)

FREUND, J., MILLER, I. y JOHNSON, R. Probabilidad y estadística para ingenieros. Prentice-Hall. 1996.

GAO, R., NAM, H.O., KO, W.I. y JANG, H. (2018). Integrated system evaluation of nuclear fuel cycle options in China combined with an analytical MCDM framework. *Energy Policy* [en línea], 114(September 2017), 221–233. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.12.009>

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, A. y GARZA RÍOS, R. (2003). Aplicación de las técnicas multicriteriales en la evaluación y selección de proveedores. *Ingeniería Industrial* [en línea], 24(2), 34-39. Disponible: <http://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/189/173>

HILLIER, F. S. y LIEBERMAN, G. J. Introduction to Operations Research. 9th ed. McGraw-Hill. 2010.

LANG, S., REGGELIN, T. y WUNDER, T. (2017). Mesoscopic Simulation Models for Logistics Planning Tasks in the Automotive Industry. *Procedia Engineering* [en línea], 178, 298–307. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.118>

LE PIRA, M., INTURRI, G., IGNACCOLO, M., PLUCHINO, A. y RAPISARDA, A. (2017). Finding shared decisions in stakeholder networks: An agent-based approach. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications* [en línea], 466, 277–287. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.09.015>

MANNINA, G., REBOUÇAS, T. F., COSENZA, A., SÀNCHEZ-MARRÈ, M. y GIBERT, K. (2019). Decision support systems (DSS) for wastewater treatment plants – A review of the state of the art. *Bioresource Technology* [en línea], 290(July), 121814. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121814>

MARTÍNEZ DELGADO, E., GONZÁLEZ SÁNCHEZ, C., GARZA RÍOS, R. y HERNÁNDEZ ASCO, C. (2018). Integración de la simulación, la regresión y la optimización multiobjetivo para determinar los recursos en un banco. *Revista Investigación Operacional* [en línea], 39(1), 140–150. Disponible: <http://www.invoperacional.uh.cu/index.php/InvOp/article/view/591/553>

MIODRAG, Z., KAFFKA, J., CLAUSEN, U., MUNSEL, L. y DROST, S. (2016). Assessment of Emissions Caused by Logistics Handling Operations in Multimodal-terminals. *Transportation Research Procedia* [en línea], 14, 2754–2761. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.483>

ROßMANN, B., CANZANIELLO, A., VON DER GRACHT, H. y HARTMANN, E. (2018). The future and social impact of Big Data Analytics in Supply Chain Management: Results from a Delphi study. *Technological Forecasting and Social Change* [en línea], 130(January), 135–149. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.10.005>

SAATY, T. L. (1990). How to make a decision. *European Journal of Operational Research* [en línea], 175, 9–26. Disponible: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6_1

SHAHSAVARI, M. H. y KHAMEHCHI, E. (2018). Optimum selection of sand control method using a combination of MCDM and DOE techniques. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [en línea], 171(July), 229–241. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.07.036>

TAMOŠAITIENĖ, J., KAZIMIERAS, E. y ŠILEIKAITĖ, I. (2017). A novel hybrid MCDM approach for complicated supply chain management problems in construction. *Procedia Engineering* [en línea], 172, 1137–1145. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.168>

VAVRÍK, V., GREGOR, M. y GRZNÁR, P. (2017). Computer simulation as a tool for the optimization of logistics using automated guided vehicles. *Procedia Engineering* [en línea], 192, 923–928. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.159>

VON DER GRACHT, H. A. (2012). Consensus measurement in Delphi studies. Review and implications for future quality assurance. *Technological Forecasting and Social Change* [en línea], 79(8), 1525–1536. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>

VULEVIĆ, T. y DRAGOVIĆ, N. (2017). Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method. *International Soil and Water Conservation Research* [en línea], 5(1), 50–55. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.01.003>

ZAMANI-SABZI, H., KING, J. P., GARD, C. C. y ABUDU, S. (2016). Statistical and analytical comparison of multi-criteria decision-making techniques under fuzzy environment. *Operations Research Perspectives* [en línea], 3, 92–117. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2016.11.001>