

## **PROPUESTA METODOLÓGICA MULTICRITERIO PARA GENERAR ÓRDENES DE MÉRITO DE LOS CADETES DE LA ESCUELA DE AVIACIÓN MILITAR ARGENTINA**

### **Guevel, Hernán Pablo**

Universidad Nacional de la Defensa/Escuela de Aviación Militar  
Universidad Nacional de Córdoba/Facultad de Ciencias Económicas  
Av. Fuerza Aérea 6500  
heguevel@gmail.com

### **Guardiola, Mariana**

Universidad Nacional de la Defensa/Escuela de Aviación Militar  
Universidad Nacional de Córdoba/Facultad de Ciencias Económicas  
Av. Fuerza Aérea 6500  
mariana.guardiola@gmail.com

### **Racagni, Josefina**

Universidad Nacional de Córdoba/Facultad de Ciencias Económicas  
Bv. Enrique Barros s/n  
jracagni@gmail.com

## **RESUMO**

El presente trabajo tiene por objeto presentar los resultados preliminares de una propuesta multimetodológica para evaluar el rendimiento de los cadetes que se encuentran cursando cuarto año de la Escuela de Aviación Militar actualmente.

La propuesta consiste en obtener un valor o índice que pondere el desempeño de cada cadete evaluado que estará construido de acuerdo con el siguiente esquema metodológico: En primer lugar, se consideran tres dimensiones (rendimiento militar, rendimiento académico y conducta) e indicadores que se proponen en el Régimen Interno del Cadete. En segundo lugar, se procede a ponderar la importancia de cada indicador que valúa cada dimensión propuesta a través del método CRITIC, donde la mayor varianza y menor correlación de los datos cobra importancia al momento de definir el peso de cada uno. En tercer lugar, con el fin de medir el desempeño de cada dimensión se opta como método de agregación al método Topsis, el cual sostiene como postulado fundamental la racionalidad de elegir una alternativa lo más próxima a la ideal o lo más alejada de la anti-ideal. Finalmente, los resultados obtenidos son jerarquizados obteniéndose una determinada orden de mérito. Cabe aclarar que se realizaron 12 formulaciones teniendo en cuenta tanto diversos procedimientos de normalización como así también diferentes medidas de distancias basadas en la métrica de Minkowski.

Como conclusión preliminar se observa que los resultados obtenidos usando la normalización de fracción del rango y las distancias ciudad y euclídea resultan más robustas que el resto de los procedimientos analizados.

**Palavra-chave:** Evaluación Rendimiento; CRITIC; TOPSIS

### ABSTRACT

The aim of this research is to present the preliminary results of a multi-methodological proposal to evaluate the performance of the cadets who are currently pursuing the last year of Argentinian Military Aviation School.

The proposal consists in obtaining an index that examines the performance of each evaluated Cadet which shall be constructed according to the following methodology: firstly, three dimensions are considered (military performance, academic performance and) indicators proposed in the internal regime of the Cadet and behavior). Secondly, is to weigh the importance of each indicator that valued each dimension proposed through the method CRITIC, where greater variance and lower correlation data becomes important at the moment to define the weight of each. Thirdly, in order to measure the performance of each dimension, TOPSIS Method is chooses as a method of aggregation, which holds as a fundamental postulate the rationality of choosing an alternative as far away from the anti-ideal or as close to the ideal. Finally, the results obtained are nested obtaining a certain order of merit. It should be noted that 12 formulations were made taking into account both different normalization procedures as well as different measures of distances based on the metric of Minkowski.

As preliminary conclusion it is observed that the results obtained using normalization of fraction of the range and City Block and Euclidean distances are more robust than the rest of the analyzed procedures.

**Keywords:** Performance Evaluation; CRITIC; TOPSIS

## 1. INTRODUCCIÓN

Las Fuerzas Armadas, a fin de cumplir con los objetivos que son delegados por la sociedad, insumen un conjunto de recursos materiales, humanos y financieros cuya gestión es encomendada a cada uno de los organismos dependientes de ellas. El presente artículo se enfocará en los recursos humanos de la organización, entendidos como “capital humano” desde la perspectiva de la ciencia administrativa. En tal sentido, Schultz y Becker (1972) lo definen como un conjunto de habilidades, conocimientos, experiencias y actitudes con que debe contar una organización para poder cumplir con los objetivos estratégicos definidos para ella, en miras a crear valor para la sociedad.

En este tipo de instituciones el capital humano representa su principal valor, y se encuentra estrechamente vinculado a los individuos que revisten estas características, requiriendo consecuentemente de un desempeño eficaz con una gestión orientada hacia la eficiencia. En este sentido, resulta particularmente importante evaluar adecuadamente el desempeño de estos agentes. Chiavenato [1] entiende a la evaluación de desempeño como un sistema de apreciación del individuo en el cargo y de su potencial de desarrollo que incluye un proceso para estimar y juzgar su valor, excelencia, cualidades y status. Por ello resulta importante entender a la evaluación como un sistema que debe reunir un conjunto de requisitos que acompañen las decisiones de los órganos de conducción.

Los cadetes, en particular, a lo largo de su formación deben realizar tareas que combinan un intenso entrenamiento militar y una rutina académica universitaria, por lo que un sistema de evaluación adecuado deberá permitir determinar si el oficial ha logrado desarrollar ciertas competencias profesionales que resultan de una compleja amalgama de aspectos técnicos, militares, intelectuales, físicos y actitudinales [2]. Todas estas cuestiones se encuentran reglamentadas en el Régimen Interno del Cadete (RIC), que plantea tres dimensiones de análisis para la determinación del orden de mérito, denominadas Aspectos Militares, Aspectos Académicos y Conducta, y otros documentos que regulan la vida institucional de la Fuerza.

En base a lo anteriormente descrito y al relevamiento previo que se ha realizado en la institución, se han enfocado los esfuerzos en el proceso de confección de un orden de mérito alternativo de los cadetes, pretendiendo generar un ordenamiento que represente de manera más adecuada las cualidades más relevantes de cada uno de ellos.

Este artículo presenta los resultados preliminares de una propuesta multimetodológica de evaluación del rendimiento de los cadetes de la promoción LXXXIV durante su tercer año de cursado, integrando su desempeño individual a través de un indicador que sintetiza en una única medida su rendimiento general.

## 2. METODOLOGÍA

En la generación de una medida de evaluación de desempeño como la requerida, resulta necesario considerar simultáneamente un conjunto de atributos representados por un número considerable de variables, que deben sintetizarse en un único valor. Los Indicadores Compuestos, también llamados complejos o sintéticos, constituyen una herramienta para la toma de decisiones, evaluación de políticas y comunicación de información de amplia difusión por su capacidad de facilitar el estudio de fenómenos de naturaleza mul-

tidimensional [3].

Estos instrumentos son el resultado de un proceso de agregación de subindicadores representativos de los atributos que caracterizan el aspecto que se desea evaluar y su construcción supone la adopción de una serie de decisiones de carácter subjetivo, que influirán en mayor o menor medida sobre los resultados y la utilidad del Indicador Compuesto (IC) obtenido. Tales decisiones se refieren fundamentalmente al método que se utiliza para agregar en una medida singular los distintos subindicadores seleccionados, y al método que se emplea para establecer sus ponderaciones (generalmente con la finalidad de reflejar su importancia relativa en la construcción del IC).

Dependiendo fundamentalmente del método adoptado para la agregación de los subindicadores, puede resultar necesario y/o conveniente seleccionar un procedimiento de normalización de los datos con el propósito de transformarlos en valores relativos (sin unidad de medida).

## 2.1. MÉTODO DE AGREGACIÓN

Los métodos de agregación permiten valorizar el conjunto de alternativas teniendo en cuenta la asociación entre criterios y variables. En este caso, partiendo del axioma de elección de Zéleny [4] donde manifiesta que “es racional elegir una alternativa lo más próxima a la ideal o lo más alejada de la anti-ideal” se utiliza el método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), propuesto por Yoon [5] que permite establecer una ordenación del conjunto de alternativas teniendo en cuenta la proximidad a una alternativa ideal positiva y la lejanía a la alternativa anti-ideal (o ideal negativa). Siguiendo los siguientes pasos se obtendrá la jerarquización deseada:

Paso 1: Normalizar las evaluaciones de una matriz (A) con las medidas del desempeño de cada alternativa “i” con respecto al criterio “j”, obteniéndose una nueva matriz  $R=[r_{ij}]$ . Para ello se pueden utilizar cualquier método de normalización de datos.

Paso 2: Determinar la ponderación asociada a cada subindicador,  $w_j$  (que puede considerarse como una medida de su importancia relativa).

Paso 3: Multiplicar la j-ésimo criterio de R por la ponderación correspondiente ( $w_j$ ), obteniendo la matriz  $V = [v_{ij}]$

Paso 4: Definir los vectores asociados a las alternativas ideales  $v^+$  y anti-ideal  $v^-$ :

$$v^+ = [v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+] \tag{1}$$

$$v^- = [v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-] \tag{2}$$

donde  $v^+$  y  $v^-$  son los valores más y menos deseados, respectivamente, del vector variable de la matriz V.

Paso 5: Calcular las distancias de cada alternativa en evaluación a las alternativas Ideal y Anti-ideal:

$$S^+ = d(v, v^+) \tag{3}$$

$$S^- = d(v, v^-) \tag{4}$$

Paso 6: Calcular el “ratio de similaridad a la alternativa ideal” como:

$$C_i = S^- / (S^- + S^+) \tag{5}$$

Este indicador varía en el intervalo [0,1].

Paso 7: Ordenar las alternativas en orden decreciente del “ratio de similaridad” a la alternativa ideal.

Finalmente, resulta necesario aclarar que existen diferentes versiones de este método, que dependen del procedimiento de normalización y la manera de medir distancias adoptados.

## 2.2. MÉTODO DE PONDERACIÓN

Con el fin de ponderar cada una de las variables que describen los criterios tenidos en cuenta, se propone como método de ponderación al presentado por Diakoulaki, Mavrotas y Papayannakis [6] denominado CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) que teniendo en cuenta la mayor dispersión de los datos (mayor desviación) y cuanto mayor información diferente a la de los otros criterios aporte (menor correlación) mayor será importancia de un indicador al momento de definir su peso. Su formulación es:

$$w_j = s_j * \sum_{k=1}^n (1-r_{jk}) \tag{6}$$

Siendo:  $w_j$  = peso o ponderación de la variable  $j$ ;  $s_j$  = desviación estándar de la variable  $j$ ;  $r_{jk}$  = Coeficiente de correlación entre la variable  $j$  y la  $k$ .

Finalmente, propone una transformación proporcional de los resultados normalizándolos por el procedimiento de fracción de la suma, obteniéndose valores entre 0 y 1.

## 2.3. MÉTODO DE NORMALIZACIÓN Y MEDICIÓN DE DISTANCIAS

Los métodos de normalización implican cambiar la escala de los datos originales para transformarlos a una escala común (en general entre 0 y 1), de manera que sean comparables entre sí.

Siguiendo la propuesta de Barba Romero y Pomerol [7], es posible distinguir cuatro procedimientos:

$$\text{Fracción del Máximo: } r_{ij} = a_{ij}/a^+_{ij} \tag{7}$$

$$\text{Módulo del Vector: } r_{ij} = a_{ij}/(\sum_{i=1}^m a^2_{ij})^{1/2} \tag{8}$$

$$\text{Fracción del Rango: } r_{ij} = (a_{ij} - a^-_{ij})/(a^+_{ij} - a^-_{ij}) \tag{9}$$

$$\text{Módulo de la Suma: } r_{ij} = a_{ij}/\sum_{i=1}^m a^2_{ij} \tag{10}$$

donde  $r_{ij}$  es el valor normalizado de la observación,  $a_{ij}$  es el valor de la observación  $i$  respecto al criterio  $j$ ,  $a^+_{ij}$  y  $a^-_{ij}$  son el máximo y mínimo valor de las observaciones del conjunto de datos respecto al criterio  $j$ .

Por otra parte, con relación a la métrica, se trabajará con la familia de distancias de Minkowski,  $m_p(x, y) = (\sum_{j=1}^n |x_j - y_j|^p)^{1/p}$ , donde p es un número entero y positivo que representa distintos tipos de distancias. Si este parámetro asume los valores 1, 2 ó  $\infty$ , representará las distancias Ciudad, Euclídea y Tchebycheff, respectivamente.

### 3. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Partiendo de la información del rendimiento militar y académico de los cadetes de la cohorte seleccionada, se buscó integrar su desempeño individual en los criterios evaluados por la Institución, a través de un indicador sintético utilizando el método CRITIC para la determinación de la importancia relativa de las variables, que fueron luego agregadas con el método TOPSIS analizando por un lado el desempeño en los Aspectos Militares y por otro en los Aspectos Académicos. Luego se construyó la medida global de desempeño de cada cadete mediante la agregación lineal de los ICs obtenidos para estos dos aspectos con la evaluación del atributo “Conducta”, utilizando los ponderadores determinados en el RIC para cada dimensión (0,3; 0,6 y 0,1 respectivamente).

Para la evaluación de la dimensión Militar se toman los indicadores representativos de los distintos aspectos de la formación ético - militar del cadete, considerándose las notas obtenidas respecto a: “Aptitud para Mandar e Instruir”, “Ascendiente”, “Confianza y Dominio de Sí Mismo”, “Criterio”, “Ejemplo”, “Entusiasmo”, “Habilidad para Efectuar la Tarea”, “Interpretación y Transmisión de Órdenes”, “Lealtad y Responsabilidad”.

En cuanto a la dimensión Académica, se evalúa el rendimiento intelectual y físico del cadete, considerándose las notas obtenidas en las siguientes materias: “Administración Económica Financiera I”, “Conocimientos Generales Aplicados al Vuelo”, “Doctrina Específica y Conjunta”, “Educación Física III”, “Inglés III”, “Mando y Conducción”, “Materiales”, “Modelos y Simulación”, “Práctica Profesional Supervisada Primaria”, “Probabilidad y Estadística”, “Teorías del Estado y de las Organizaciones” y “Vuelo”. Finalmente, en el caso de la Conducta solo se tiene un indicador que es la valoración de la misma en función a criterios específicos e internos de la organización.

A modo de resumen se presenta en la figura 1 que sintetiza el esquema jerárquico utilizado para la construcción del ordenamiento.

En la Tabla 1 se presentan doce variantes del Método TOPSIS para la construcción del ordenamiento, que contemplan combinaciones alternativas de métodos de normalización y métrica.

La primera combinación, por ejemplo, implica la normalización de los datos por Fracción del Máximo y la utilización de  $p = 1$  para medir la distancia (distancia ciudad).

		Método de Medición de distancia		
		Ciudad	Euclídea	Tchebycheff
Método de Normalización	F. del Máximo	FM-C	FM-E	FM-T
	F. del Módulo	FMo-C	FMo-E	FMo-T
	F. del Rango	FR-C	FR-E	FR-T
	F. de la Suma	FS-C	FS-E	FS-T

Tabela 1: Propuestas de indicadores sintéticos

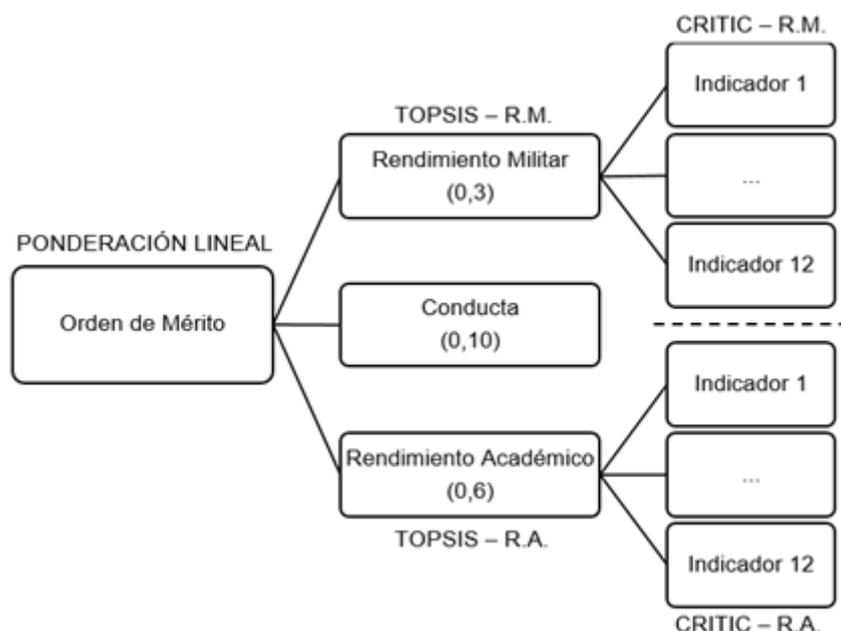


Figura 1: Pasos para la construcción de los Indicadores Compuestos

#### 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los siguientes cuadros presentan los resultados para cada una de las alternativas de construcción de indicador del orden de mérito propuestas.

La Tabla 2 muestra algunos valores de los ICs obtenidos, teniendo en cuenta que cada uno de ellos representa el ratio de similaridad explicado en el paso 6 del método TOPSIS, que combina la cercanía respecto a la alternativa ideal con la separación respecto de la alternativa anti-ideal. Los órdenes jerárquicos obtenidos en función de los resultados de esta tabla, se presentan en la Tabla 3, donde el menor valor corresponde a la mejor alternativa.

Nº	FM-C	FM-E	FM-T	FMo-C	FMo-E	FMo-T	FR-C	FR-E	FR-T	FS-C	FS-E	FS-T
1	0.497	0.492	0.458	0.498	0.494	0.461	0.487	0.477	0.453	0.498	0.494	0.460
2	0.561	0.526	0.528	0.559	0.518	0.498	0.590	0.577	0.600	0.560	0.518	0.498
3	0.550	0.557	0.578	0.545	0.546	0.550	0.574	0.604	0.664	0.544	0.546	0.550
4	0.575	0.553	0.554	0.572	0.545	0.524	0.600	0.605	0.643	0.572	0.546	0.524
5	0.468	0.480	0.540	0.465	0.472	0.515	0.488	0.522	0.576	0.465	0.473	0.515
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
50	0.546	0.544	0.561	0.543	0.536	0.531	0.563	0.585	0.651	0.543	0.536	0.531
51	0.494	0.526	0.581	0.490	0.516	0.555	0.502	0.551	0.608	0.490	0.517	0.555
52	0.466	0.478	0.530	0.464	0.470	0.501	0.487	0.527	0.610	0.464	0.470	0.501
53	0.469	0.489	0.553	0.466	0.482	0.537	0.480	0.518	0.573	0.467	0.483	0.539
54	0.471	0.494	0.539	0.466	0.484	0.509	0.475	0.511	0.563	0.466	0.484	0.509

Figura 2: Índices obtenidos por propuesta metodológica

La aplicación de la metodología propuesta permite la comparación de índices alternativos al orden de mérito, tal como se lo construye actualmente, a partir de un

nuevo método de agregación y ponderación.

De los resultados se puede observar que la distancia Tchebycheff genera distorsiones en los resultados de este conjunto de datos, por lo que no resultaría recomendable utilizarla para la evaluación del desempeño de los cadetes. Estas distorsiones responden a que, por definición de esta métrica, en la construcción del índice de similaridad, se maximizará la distancia entre los valores observados y el “mejor” valor para cada subindicador.

Cadete Nº	FM-C	FME	FM-T	FMo-C	FMo-E	FMo-T	FR-C	FR-E	FR-T	FS-C	FS-E	FS-T
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	2	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3
26	6	5	6	6	5	8	3	5	6	6	5	8
43	7	11	23	7	10	25	4	9	7	7	10	25
22	8	23	43	8	23	44	5	12	39	8	23	44
19	5	13	32	5	13	32	6	8	20	5	13	32
17	11	21	31	11	21	31	7	11	24	11	21	34
23	12	7	13	12	8	13	8	6	10	12	8	16
42	9	12	19	9	11	19	9	7	5	9	11	20
14	17	31	40	16	31	40	10	23	30	16	31	40
33	15	17	25	15	17	27	11	18	12	15	17	27
38	14	9	9	14	9	9	12	15	21	14	9	9
40	13	6	9	13	7	9	13	13	21	13	7	9
28	16	14	18	17	14	21	14	16	16	17	14	21
8	23	19	14	23	19	18	15	17	9	23	19	17
10	10	16	27	10	15	26	16	10	19	10	15	26
4	18	29	37	19	29	39	17	19	25	19	29	39
2	22	37	46	22	37	47	18	31	40	22	37	47
48	24	18	11	25	18	11	19	22	11	25	18	11
50	30	30	35	30	30	38	20	30	18	31	30	38
3	28	27	30	29	28	30	21	21	13	29	28	30
6	21	15	11	21	16	11	22	14	8	21	16	11
46	20	8	7	18	6	6	23	27	14	18	6	6
21	4	4	4	4	4	4	24	4	4	4	4	4
9	27	10	5	28	12	5	25	20	17	28	12	5
25	3	2	2	3	2	2	26	2	2	3	2	2
11	19	33	47	20	32	45	27	26	38	20	32	45
45	29	22	16	27	22	14	28	28	27	27	22	14
24	26	24	28	26	24	28	29	24	15	26	24	28
47	31	26	22	31	25	22	30	29	26	30	25	22
36	32	28	21	32	27	20	31	32	23	32	27	19
31	34	39	34	34	39	37	32	34	31	34	39	36
15	33	25	8	33	26	7	33	33	34	33	26	7
41	25	20	16	24	20	14	34	25	27	24	20	14
51	40	38	29	38	38	29	35	35	35	38	38	29
32	39	32	20	40	33	17	36	36	36	40	33	13
53	43	44	38	43	43	35	37	43	44	42	43	35
5	45	46	41	44	46	41	38	42	43	44	46	42
54	42	40	42	42	42	43	39	44	46	43	42	43
12	38	34	24	39	35	24	40	37	41	39	35	24
52	46	47	45	46	47	46	41	41	33	45	47	46
30	44	41	39	45	41	36	42	47	47	46	41	37
7	37	45	48	37	45	50	43	39	45	37	45	50
37	41	35	15	41	34	16	44	40	32	41	34	18
27	49	48	33	49	48	33	45	45	37	49	48	33
39	50	49	44	50	49	42	46	46	42	50	49	41
1	36	42	52	35	40	49	47	50	52	35	40	49
13	51	52	51	51	52	51	48	51	49	51	52	51
34	35	36	26	36	36	23	49	38	29	36	36	23
18	48	43	36	48	44	34	50	48	50	48	44	31
49	47	50	49	47	50	52	51	49	48	47	50	52
29	52	51	50	53	51	48	52	52	51	53	51	48
44	53	54	54	52	54	54	53	53	53	52	54	54
35	54	53	53	54	53	53	54	54	54	54	53	53

Figura 3: Orden de mérito obtenido en función de cada propuesta metodológica

En cuanto a las alternativas de normalización, el procedimiento de fracción del rango genera resultados más estables que los otros considerados. La estabilidad se analizó teniendo en cuenta la compatibilidad de los ordenamientos obtenidos con este método, haciendo variar la métrica utilizada en el ratio de similaridad, y calculando la correlación entre los valores obtenidos para los ICs.

En virtud de lo expresado, y teniendo en cuenta que el alcance de los resultados se limita a la evaluación del desempeño de un único grupo de cadetes, para un solo año, las mejores combinaciones de métodos de normalización y métrica resultan FR-C y FR-E, atendiendo a la consistencia de los órdenes conformados.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

Aunque desde el punto de vista metodológico, los procedimientos seguidos ya han sido validados, se encuentra en proceso de análisis y discusión con las autoridades de la EAM su aplicabilidad para la medición de los aspectos evaluados.

Asimismo, sería deseable profundizar el análisis de la influencia de las diferentes métricas en los resultados, como así también considerar la pertinencia de utilizar procedimientos de estandarización (por ejemplo, estandarización normal y/o robusta).

Otra cuestión a considerar, es el análisis de la evolución del desempeño de los cadetes a lo largo de su carrera formativa en la Fuerza, es decir, la realización de un estudio longitudinal del desempeño académico-militar de los oficiales en formación.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CHIAVENATO, I.; SACRISTÁN, P. M.; ROA, M. d. C. E. H. *Administración de recursos humanos*. [S.l.]: McGraw-Hill Interamericana, 2011. 3
- [2] SOLANO, A. C. Técnicas de evaluación psicológica en los ámbitos militares. motivación, valores y liderazgo. *Revista iberoamericana de diagnóstico y evaluación psicológica*, Asociación Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación, v. 1, n. 21, p. 173–174, 2006. 3
- [3] FUNES, M.; RACAGNI, J.; GUEVEL, H. P. Comparación de métodos de agregación y ponderación de la construcción de un indicador del desarrollo humano de países latinoamericanos. *Aplicación de multi-metodologías para la gestión y evaluación de sistemas sociales y tecnológicos*, 2014. Disponible em: <<http://hdl.handle.net/11086/1336>>. 4
- [4] ZELENY, M.; COCHRANE, J. Multiple criteria decision making mcgraw-hill new york, 34. 1982. 4
- [5] YOON, K. A reconciliation among discrete compromise solutions. *Journal of the Operational Research Society*, Springer, v. 38, n. 3, p. 277–286, 1987. 4
- [6] DIAKOULAKI, D.; MAVROTAS, G.; PAPAYANNAKIS, L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 22, n. 7, p. 763–770, 1995. 5
- [7] ROMERO, S. B.; POMEROL, J.-C. *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. [S.l.]: Universidad de Alcalá, 1997. 5