Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. **Rect@**
Volumen 18 (2017), páginas 119 a 135.
DOI: 10.24309/recta.2017.18.2.02

CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES BASADA EN MEDIDAS DE SIMILITUD CON IDEALES. UNA APLICACIÓN AL CÁLCULO DE ÍNDICES DE ADECUACIÓN Y DE EXCELENCIA

SANDRA EVELY PARADA RICO
sanevepa@uis.edu.co
Escuela de Matemáticas. Universidad Industrial de Santander
Carrera 27 Calle 9. Edificio Camilo Torres. Bucaramanga (Colombia)

OLGA BLASCO-BLASCO
olga.blasco@uv.es
Dpto. Economía Aplicada. Facultat d'Economia. Universitat de València
Avda. dels Tarongers, s/n. 46022 Valencia (España)

VICENTE LIERN
vicente.liern@uv.es
Dpto. Matemáticas para la Economía y la Empresa. Universitat de València
Avda. dels Tarongers, s/n. 46022 Valencia (España)

Recibido (11/08/2017)
Revisado (23/11/2017)
Aceptado (27/12/2017)

RESUMEN: Construimos indicadores sintéticos que permiten medir el grado de adecuación y de excelencia (absoluta y relativa) de las alternativas analizadas. Una vez valorada cada alternativa en los criterios determinados, el cálculo de los indicadores puede presentar dos dificultades: la naturaleza de los datos (se mezclan valores numéricos, intervalares y ligüísticos), y el objetivo de cada criterio (que no tiene por qué ser alcanzar ni el máximo ni el mínimo). Proponemos un método, basado en medidas de similitud con ideales prefijados, que es capaz de superar estas dificultades y de proporcionar información fácil de interpretar sobre la adecuación y excelencia.
Para mostrar la utilidad del método, lo aplicamos a los datos de estudiantes de la Universidad Industrial de Santander (Colombia), recogidos durante los cinco últimos semestres en el campus de Bucaramanga. Con este caso real, mostramos que nuestra propuesta generaliza el indicador de excelencia ILSAE (Parada et al., 2015) y que además los valores obtenidos para los índices pueden facilitar las decisiones estratégicas de la institución.

Palabras claves: Indicadores sintéticos, Similitud, Lógica fuzzy, Métodos de ordenación.

ABSTRACT: We build synthetic indicators which allow the measurement of the adequacy and excellence degree (absolute and relative) of the analyzed alternatives. Once each alternative is evaluated with respect to the considered criteria, the calculation of the indicators can present two difficulties: On one hand, the nature of the data (numerical, intervalar and linguistic values are mixed), and on the other hand, the objective of each criterion (which does not have to be to reach the maximum or minimum values). We propose a method, based on similarity measures with prefixed ideals, which is capable to overcome these difficulties and that is also able to provide information easy to be interpreted regarding adequacy and excellence.
In order to show the utility of the method we apply it to a dataset from students of the Industrial University of Santander (Colombia), collected during the last five semesters at Bucaramanga's Campus. With this real case, we show how our proposal generalizes the excellence indicator ILSAE (Parada et al., 2015). Moreover, we show how the obtained values for the proposed indices can facilitate strategic institutional decisions.

Keywords: Synthetic indicators, Similarity, Fuzzy logic, Ranking methods.

1. Introducción

Cuando las decisiones se basan en varios criterios, en muchas ocasiones los gestores se encuentran con que gran parte de los métodos usuales asumen que lo mejor para cada criterio (por separado) es intentar alcanzar su máximo o su mínimo, según sea el caso. Sin embargo, en muchos casos reales, el mejor escenario es otro (Cables et al., 2016). Si estamos analizando, por ejemplo, modelos relacionados con la salud, lo habitual es que lo deseable sea que el paciente presente valores comprendidos en intervalos intermedios de peso, de presión arterial, de temperatura, etc. Esto hace que gran parte de métodos de ayuda a la toma de decisiones, basados en la optimización multicriterio, no puedan ser utilizados directamente, sino que requieren transformaciones previas (Cables et al., 2016; Acuña-Soto et al. 2017).

Para las instituciones, conocer la adecuación de su personal y su capacidad para acometer una tarea resulta imprescindible. Se trata de acciones estratégicas que afectan a muchas personas (empleados, estudiantes, pacientes, etc.), y suelen depender de la actuación coordinada de varios empleados, de diferentes departamentos y de una asignación adecuada de recursos. Está claro que sería deseable la valoración individualizada de cada persona que participará en la actividad, pero esto no siempre es posible y, aunque lo fuese, resulta fundamental conocer con la antelación suficiente y siguiendo criterios objetivos, qué número de participantes necesitará acciones complementarias que los capaciten para realizar apropiadamente su cometido. Pensemos, por ejemplo, en los alumnos que acceden a una universidad y deben acabar sus estudios con éxito; en una entidad financiera que ofrece un nuevo tipo de inversión a sus clientes; o en una empresa multinacional que ofrece una nueva línea de productos. Sin un plan estratégico, las posibilidades de llevar a cabo el objetivo son cuestionables.

La primera labor será determinar los criterios de los que depende, a juicio de expertos, la capacidad para realizar la labor. Una vez seleccionados, la institución debe marcar cuáles son los requisitos en cada criterio para desarrollar con éxito los objetivos (valoración ideal). Existen muchos métodos basados en indicadores que podrían resultar muy útiles para valorar cada potencial participante (Parada et al., 2015). Sin embargo, los métodos estadísticos estándar pueden resultar insuficientes por varias razones:

a) Las valoraciones provienen de varias secciones, que usan criterios propios y están expresadas de forma numérica, mediante intervalos o con variables lingüísticas o categóricas (Xu, 2012; Cables et al., 2016).

b) Las escalas con las que se establecen los valores son muy diversas y sus magnitudes son muy heterogéneas, lo que no permite aplicar operadores de agregación directamente (Xu, 2004, Liern, Perez-Gladish, 2018).

c) Las valoraciones ideales de cada criterio suelen ser estimaciones futuras y por lo tanto, no tienen por qué poder establecerse de forma precisa (Xu, 2004, Parada et al., 2015).

Ante esta situación, es necesario determinar indicadores adecuados para cada sección, de modo que la valoración completa responda lo más fielmente posible al desempeño real de la actividad y que los resultados se expresen de manera cómoda. En este trabajo mostraremos un método para homogeneizar y normalizar los datos comparándolos con los objetivos ideales fijados con la institución. No se trata sólo de trasladar todos los datos al intervalo [0, 1], sino que pretende que expresen la similitud de cada valoración con el ideal.

Tras este proceso, estamos en condiciones de definir un indicador sintético que proporcione una valoración global de cada individuo. A partir de ella podemos hacer una estimación de la adecuación y de la excelencia. Para mostrar la utilidad del método, estudiaremos un ejemplo real con datos de los alumnos que ingresan a la Universidad Industrial de Santander de Colombia (UIS).

Desde hace casi cinco años, cuando la UIS crea el Sistema de Apoyo a la Excelencia Académica de los Estudiantes de la UIS (SEA) para coordinar y gestionar programas y estrategias, se tienen datos de los alumnos que ingresan a la universidad en cinco facetas: económica, social, de salud, académica y cognitiva. Se trata de un claro ejemplo en el que diversas circunstancias han hecho que las formas de medir, las personas participantes en las valoraciones e incluso los gestores de la iniciativa han cambiado, por lo tanto utilizar indicadores exclusivamente numéricos no ofrece muchas garantías de éxito. Es necesario que los instrumentos que se utilizan tengan la flexibilidad suficiente para poder proporcionar resultados plausibles. De hecho, como cada dimensión responde a un tipo de valoración y los ideales no son necesariamente alcanzar el máximo posible en cada dimensión, una normalización basada en la similitud con los ideales fijados con la institución, resulta muy útil.

Una vez valorados los alumnos de forma convincente, podemos establecer una partición en tres grupos, según presentan muchas, medias o nulas dificultades para llevar a cabo sus estudios. Teniendo en cuenta los que pertenecen a cada grupo y cómo esto puede afectar a la gestión de la institución, se logra el objetivo de nuestro método: establecer un *índice de adecuación* y dos *índices de excelencia (absoluta y relativa)* que permiten a la entidad tomar decisiones estratégicas (en la Figura 1 se muestra un esquema general de la propuesta)

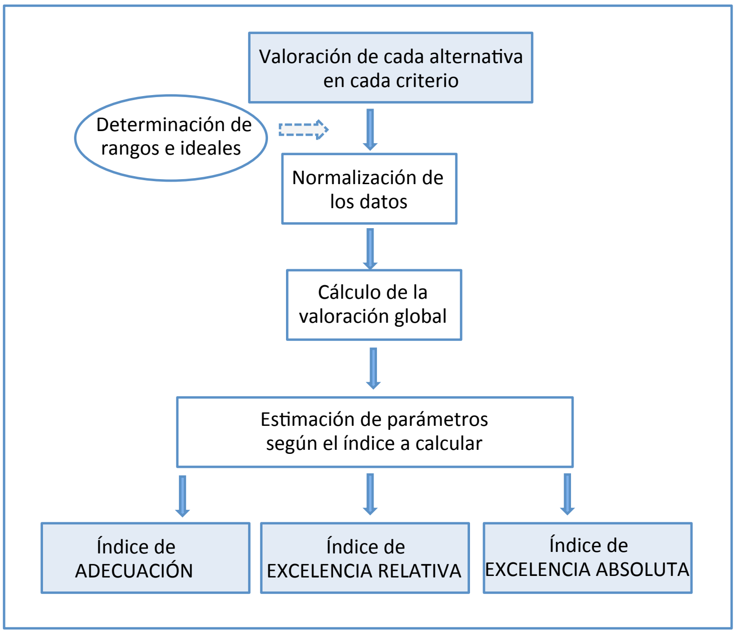

Figura 1. Esquema del método para obtener los índices propuestos.
Fuente: Elaboración propia.

En este trabajo, hemos utilizado los datos de los alumnos que han iniciado sus estudios en la UIS en los dos semestres de 2015, los dos semestres de 2016 y el primer semestre de 2017. Comprobaremos que en los periodos analizados, entre el 65% y el 71% de los estudiantes que acceden se consideran adecuados para realizar sus estudios con éxito, mientras que el índice de excelencia absoluta está entre el 10% y el 20% y el de excelencia relativa entre el 40% y el 46%. Esto significa que la UIS debería prever la atención de aproximadamente un tercio de los alumnos que ingresan con acciones complementarias en algunas de las dimensiones, y cuando la coyuntura social y económica lo permitan, también podría planear actividades de alto rendimiento para 1 ó 2 de cada 10 alumnos.

2. Normalización y homogeneización de los datos basada en medidas de similitud

Una institución está interesada en valorar n alternativas, A_i, $i = 1, \dots, n$, para realizar una actividad que resulta costosa en tiempo, recursos y esfuerzos personales. Para gestionarlo se cuenta con la evaluación de cada alternativa en m criterios de diferente naturaleza, C_j, $j = 1, \dots, m$, que aportan información útil acerca de las capacidades para desarrollar la actividad. Esta información se expresa en una matriz de decisión

$$D = \left[v_{ij} \right], \quad 1 \le i \le n, \quad 1 \le j \le m. \tag{1}$$

Según el tipo de criterio analizado, puede resultar más natural una valoración mediante números reales, intervalos, evaluaciones lingüísticas o colecciones finitas de valoraciones lingüísticas (Cables et al, 2016). Por esta razón, resultará útil clasificar los tipos de datos que podemos encontrar.

2.1. Tipos de datos

Según la naturaleza de la valoración, podemos clasificar los datos en dos clases:

- Tipo I: si el dato es un solo número o expresión lingüística.
- Tipo II: si el dato es un conjunto de números o de expresiones lingüísticas.

Expresado de forma esquemática, se tienen las siguientes posibilidades:

$$\text{Datos} = \begin{cases} \text{Tipo I} \begin{cases} \text{a) } v_{ij} \in R \\ \text{b) } v_{ij} \text{ es un valor lingüístico} \end{cases} \\ \text{Tipo II} \begin{cases} \text{a) } v_{ij} = [v_{ij}^L, v_{ij}^R] \subset R \\ \text{b) } v_{ij} = \{v_{ij}^1, v_{ij}^2, ..., v_{ij}^p\} \text{ es una colección de valores numéricos o lingüísticos} \end{cases} \end{cases} \tag{2}$$

Normalmente, el uso de datos lingüísticos, añade dificultades operativas a los procesos, por esa razón, es necesario fijar claramente el tratamiento que se va a hacer de ellos. Teniendo en cuenta los trabajos de R.R. Yager (1995, 1992), o F. Herrera y L. Martínez (2000, 2001), podemos asumir que una escala de evaluación lingüística es un conjunto

$$L = \{L_h \mid h = 1, 2, ..., H\}, \tag{3}$$

de modo que $L_{h1} > L_{h2}$ si $h_1 > h_2$.

De acuerdo con Xu (2012), el conjunto L puede extenderse a una escala continua de la forma siguiente:

$$L' = \{L_h \mid h \in [1, H]\}. \tag{4}$$

En este caso, a las valoraciones dadas en L se le llaman originales y a las de L' se les denomina virtuales.

Para simplificar la notación, teniendo en cuenta (3) y (4), las valoraciones se pueden escribir como

$$L_h \equiv h, \quad h \in [1, H]. \tag{5}$$

Con la identificación hecha en (5), los datos Tipo II pueden expresarse mediante intervalos:

$$\text{Tipo II} \begin{cases} v_{ij} = [v_{ij}^L, v_{ij}^R], & \text{si es del Tipo II (a),} \\ v_{ij} = [v_{ij}^L, v_{ij}^R] = [1, p], & \text{si es del Tipo II (b).} \end{cases} \tag{6}$$

2.2. Rangos de variación e ideales

Con la reformulación de los datos establecida en el aparado anterior, es más sencillo poder expresar algunas hipótesis:

i) Cada criterio, C_j, j =1 ,…, *m,* tiene un rango $[A_j, B_j]$ donde pueden variar las valoraciones.

ii) Para cada criterio C_j, j =1 ,…, *m,* existe un intervalo que marca el ideal del criterio $[a_j, b_j]$ contenido en $[A_j, B_j]$.

Si para los datos de Tipo I hacemos $v_{ij}^{L} = v_{ij}^{R} = v_{ij}$ y para los datos de Tipo II usamos la notación dada en (6), está claro que (i) y (ii) no suponen ninguna restricción, porque basta con hacer

$$A_j = \min_{1\le i\le n}\left(v_{ij}^{L}\right), \qquad B_j = \max_{1\le i\le n}\left(v_{ij}^{R}\right),$$

$$[a_j, b_j] = \begin{cases} \left[\max_{1\le i\le n}\left(v_{ij}^{R}\right), \max_{1\le i\le n}\left(v_{ij}^{R}\right)\right], & \text{si } C_j \text{ es un criterio a maximizar,} \\ \left[\min_{1\le i\le n}\left(v_{ij}^{L}\right), \min_{1\le i\le n}\left(v_{ij}^{L}\right)\right], & \text{si } C_j \text{ es un criterio a minimizar.} \end{cases}$$

Teniendo en cuenta lo expuesto, podemos establecer una normalización de los datos que se basa en el parecido con los ideales fijados por la institución.

2.3. Normalización basada en ideal

A continuación mostramos los métodos de normalización distinguiendo el tipo de dato ante el que nos encontramos.

i) Si v_{ij} es de Tipo I, en Cables et al. (2016), basándose en la distancia entre la valoración y el ideal I_j,

$$d_{\min}\left(v_{ij},\ [I_j^{L}, I_j^{R}]\right) = \min\left(\left|v_{ij} - I_j^{L}\right|, \left|v_{ij} - I_j^{R}\right|\right), \tag{7}$$

se define una transformación $f_1 : [A_j, B_j] \to [0,1]$, que se puede expresar como

$$f_1(x) = \begin{cases} 1 - \dfrac{I_j^{L} - x}{I_j^{L} - A_j} & \text{si} \quad x \in \left[A_j, I_j^{L}\right[\\ 1 & \text{si} \quad x \in [I_j^{L}, I_j^{R}] \\ 1 - \dfrac{x - I_j^{R}}{B_j - I_j^{R}} & \text{si} \quad x \in \left]I_j^{R}, B_j\right] \\ 0 & \text{si} \quad x \notin \left[A_j, B_j\right] \end{cases} \tag{8}$$

ii) Si v_{ij} es de Tipo II, es decir $v_{ij} = [v_{ij}^{L}, v_{ij}^{R}]$, de acuerdo con Acuña et al. (2017), la distancia entre v_{ij} y el intervalo ideal se calcula mediante la distancia de Taxicab normalizada para el rango de los datos en este criterio $[A_j, B_j]$ (Canós et al., 2014), es decir,

$$d\left([v_{ij}^{L}, v_{ij}^{R}], [I_j^{L}, I_j^{R}]\right) = \frac{1}{2(B_j - A_j)}\left(|\,v_{ij}^{L} - I_j^{L}\,| + |\,v_{ij}^{R} - I_j^{R}\,|\right). \tag{9}$$

A partir de (9), de modo similar a lo hecho en (7), definimos la función siguiente:

$$f_2\left([x,y]\right) = \begin{cases} 1 & \text{si} \quad [x,y] \subseteq [I_j^{L}, I_j^{R}] \\ 1 - d\left([x,y], [I_j^{L}, I_j^{R}]\right) & \text{si} \quad [x,y] \not\subset [I_j^{L}, I_j^{R}],\ [x,y] \subseteq [A_j, B_j] \\ 0 & \text{si} \quad [x,y] \not\subset [A_j, B_j] \end{cases} \tag{10}$$

Una vez determinadas las funciones f_1 y f_2, se pueden normalizar los datos de la forma siguiente:

$$r_{ij} = \begin{cases} f_1(v_{ij}) & \text{si} \quad v_{ij} \text{ es de Tipo I} \\ f_2(v_{ij}) & \text{si} \quad v_{ij} \text{ es de Tipo II} \end{cases} \tag{11}$$

Aplicando (11) a todos los criterios, obtenemos una normalización de los datos originales que expresa, mediante un número real r_{ij} del intervalo [0, 1], la similitud con el ideal fijado para el criterio (Carlsson, Fullér, 2002; Zeng, Guo, 2008).

Como veremos más adelante, la normalización dada en (11) puede suponer una reordenación de los datos originales, por esta razón, creemos conveniente dar la siguiente definición.

Definición 1: *La alternativa A_{i1} es preferida a la alternativa A_{i2} en para el criterio C_j si y sólo si* $r_{i_1 j} > r_{i_2 j}$.

A continuación mostraremos, en un ejemplo sencillo, la metodología expuesta hasta aquí.

Ejemplo 1: Para realizar una actividad, una institución evalúa cinco alternativas, A_i, en tres criterios, C_j. Para valorar el primer criterio tienen que asignar un número del 0 al 10, para el segundo criterio deben elegir una opción entre {Muy Bueno (MB), Bueno (B), Medio (M), Deficiente (D), Muy Deficiente (MD)}, y para valorar el tercer criterio deben asignar un intervalo contenido en [0, 10] (ver Tabla 2).

El organismo ha fijado que los valores ideales para los criterios C_1, C_2 y C_3 son, respectivamente, [9, 10], Bueno y [8, 9]. Se trata de conseguir una normalización de los datos que permita un manejo conjunto de ellos.

Tabla 1. Valoraciones del Ejemplo 1.

Alternativas	Datos originales		
	C_1	C_2	C_3
A_1	9	Medio	[4, 6]
A_2	8	Deficiente	[5, 7]
A_3	6	Bueno	[8, 9]
A_4	7	Medio	[7, 9]
A_5	7	Muy Deficiente	[3, 5]
Ideal	[9, 10]	Bueno	[8, 9]
Rango	[0, 10]	{Muy Deficiente, Deficiente, Medio, Bueno, Muy Bueno}	[0, 10]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Normalización basada en la similitud con ideales prefijados.

Alternativas	Datos transformados según (6)			Datos normalizados			
	C_1	C_2	C_3	C_1	C_2	C_3	Media
A_1	9	3	[4, 6]	1	0.6667	0.65	0,7722
A_2	8	2	[5, 7]	0.8889	0.3333	0.75	0,6574
A_3	6	4	[8, 9]	0.6667	1	1	0,8889
A_4	7	3	[7, 9]	0. 7778	0.6667	0.95	0,5389
A_5	7	1	[3, 5]	0.7778	0	0.55	0,4426
Ideal	[9, 10]	4	[8, 9]	[9, 10]	4	[8, 9]	
Rango	[0, 10]	[1, 5]	[0, 10]	[0, 10]	[1, 5]	[0, 10]	

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos originales de la Tabla 1, el primer paso es convertir en números todas las valoraciones haciendo MB=5, B=4, M=3, D=2 y MD=1 (columnas 2-4 de la Tabla 2). El segundo paso es expresar numéricamente todos los valores ideales fijados por la institución. Por último, el tercer paso consiste en normalizar los datos aplicando (11) a los criterios C_1, C_2 y C_3 (columnas 5-7 de la Tabla 2).

Si ordenamos las alternativas por la media aritmética de los datos normalizados (columna 8 de la Tabla 2), la ordenación de alternativas que obtendríamos es

$$A_3 > A_1 > A_2 > A_4 > A_5.$$

3. Valoración global de alternativas

En esta sección, vamos a construir un indicador sintético que sirva para valorar globalmente cada alternativa utilizando los *m* criterios o indicadores parciales que se obtengan a partir de ellos. Esquemáticamente, la propuesta es la que se muestra en la Figura 2.

En los casos reales, lo habitual es que cada sección de la institución utilice una parte de los criterios y los agrupe en un indicador parcial. Con esto, se trabajaría con *q* indicadores I_1, I_2, …, I_q, (q<m), dados por

$$I_k := \sum_{h=1}^{m_k} \alpha_h^k r_{ij_k}, \quad 1 \le k \le q, \tag{12}$$

donde r_{ij_k} son los datos normalizados de acuerdo con (11) y α_h^k es el peso que se da al criterio *i*-ésimo en el indicador *k*.

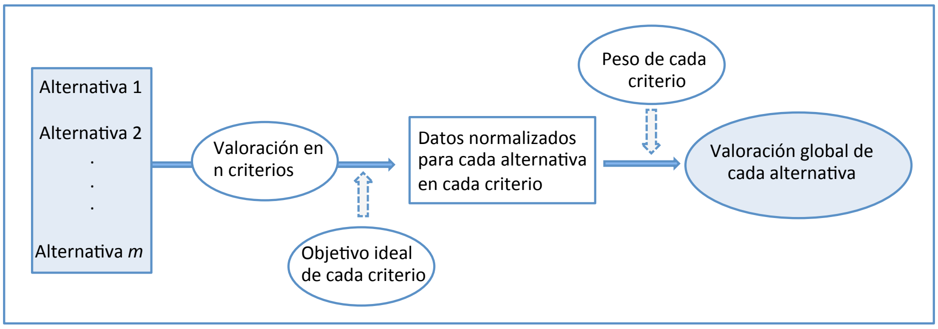

Figura 2. Esquema del método propuesto para obtener la valoración global de alternativas.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez conocidos los indicadores parciales para cada alternativa, simplificamos la notación de la forma siguiente:

$$I_k(A_i) := I_{ik} \qquad 1 \le i \le n, \; 1 \le k \le q, \tag{13}$$

Definición 2. *Dados una matriz de valoraciones de n alternativas en q criterios (indicadores parciales)*

$$\left[I_{ik}\right], \quad 1 \le i \le n, \; 1 \le k \le q,$$

y un vector de pesos $w = (w_1,\dots,w_q)$,

$$\sum_{k=1}^{q} w_k = 1, \qquad w_k \in [0,1], \qquad 1 \le k \le q,$$

se define la valoración global de la alternativa i-ésima,

$$G_i := \sum_{k=1}^{q} w_k I_{ik}, \qquad 1 \le i \le n. \tag{14}$$

Comentario 1: Si no se tuviesen indicadores parciales I_1, I_2, …, I_q, sino que se trabajase directamente con las normalizaciones de las valoraciones originales r_{ij} (véase expresión (11)), consideraríamos que cada criterio es un indicador parcial, es decir $q = m$, y la valoración global introducida en la Definición 2 se calcularía de forma similar, es decir

$$G_i^r := \sum_{j=1}^{m} w_j r_{ij}, \qquad 1 \le i \le n. \tag{15}$$

Comentario 2: Nótese que a pesar de que (12) es un operador lineal respecto de I_{ik} (o la expresión (15) es una combinación lineal de r_{ij}), no lo es respecto de v_i, puesto que las transformaciones que se utilizan para calcular r_{ij} son lineales a trozos (véase expresión (11)).

4. Índices de adecuación y de excelencia

En esta sección vamos a construir y analizar dos tipos de indicadores: de adecuación y de excelencia. En el segundo caso distinguiremos dos tipos, que se trate de excelencia respecto del resto de alternativas comparadas (excelencia relativa) o que estemos interesados en la excelencia absoluta, independiente del conjunto de alternativas analizadas.

4.1 Construcción del índice de adecuación

Para los gestores de cualquier entidad, puede resultar muy útil tener una estimación global del porcentaje de personas de su institución que se consideran adecuadas para realizar una actividad. Esto les permitirá conocer si tienen que plantearse políticas de actuaciones complementarias y en qué medida deberían modificar sus estrategias para que la actividad resulte exitosa.

Supongamos que en un periodo, la institución fija una valoración, S_0, por debajo de la cuál sabe que los individuos no son adecuados para la tarea, y otra valoración, S_1, por encima de la cuál se considera una adaptación excelente. Esto divide el número de sujetos que analiza la institución, n, en tres bloques $n= n_1+n_2+n_3$, donde n_1 es el número de los sujetos considerados excelentes para la actividad, n_2 es la cantidad de individuos con alto riesgo de fracaso y n_3 es el número de los que presentan un riesgo medio de tener dificultades. A partir de estos valores, que evidentemente dependen de S_0 y S_1, se trata de construir un indicador que tenga en cuenta, al menos, las condiciones siguientes:

1. La institución sabe que n_1 sujetos no necesitan acciones complementarias, porque son adecuados para realizar sus tareas sin dificultades. Por lo tanto, el aumento (resp. disminución) de n_1 debe provocar un aumento (resp. disminución) en el indicador.

2. Se cuenta con n_2 personas que son claramente inadecuados para la tarea. Esta cifra debería incidir de forma negativa en el porcentaje de los que se consideran adecuados. Además, varios de estos individuos suelen necesitar más de una actuación, por lo tanto n_2 debemos multiplicarlo por un coeficiente β, que represente una estimación del promedio de actuaciones a cada miembro de este grupo.

3. De los n_3 individuos catalogados con riesgo medio, debemos suponer que una parte, αn_3 (con α entre 0 y 1), no necesitarán ningún tipo de acción adicional, mientras que el resto de ellos, $(1-\alpha)n_3$, pueden necesitarla.

4. La sensibilidad del indicador a los parámetros α, β, S_0 y S_1 no debería ser la misma. Los valores de S_0 y α determinan los individuos que directamente precisan acciones complentarias para conseguir su adecuación, por lo tanto el indicador debería ser muy sensible a estos parámetros. Sin embargo, S_1 y β deberían influir menos, porque se trata de fijar el umbral para la excelencia o el promedio de futuras acciones complementarias.

Teniendo en cuenta estos requisitos, podemos construir el índice de la forma siguiente:

Definición 3: *Con la notación anterior, llamamos índice de adecuación a*

$$A(n_1,n_2,n_3) = \frac{n_1+\alpha n_3}{n_1+\beta n_2+n_3}, \quad \alpha\in[0,1], \;\; \beta\geq 1. \tag{16}$$

Por propia construcción, este índice toma valores entre 0 y 1. Cuanto mayor sea el valor de A, mayor es la proporción de sujetos adecuados para la actividad. Ahora vamos a comprobar que A verifica las condiciones necesarias para nuestro estudio. Por un cálculo directo se comprueban los siguientes resultados:

Proposición 1: *El índice de adecuación $A(n_1, n_2, n_3)$ verifica*

a) Si $n = n_1$, $A(n_1, n_2, n_3) = 1$.
b) Si $n = n_2$, $A(n_1, n_2, n_3) = 0$.
c) Si $n = n_3$, $A(n_1, n_2, n_3) = \alpha$.
d) $A(n_1,n_2,n_3) \in \left[\frac{\alpha}{\beta}\left(\frac{n_1+n_3}{n}\right),\ \frac{n_1+n_3}{n} \right] \subseteq [0,\ 1]$.

A continuación mostramos una gráfica de $A(n_1, n_2, n_3)$, para los valores $\alpha = 0.8$ y $\beta = 2$, que son los que utilizaremos en la aplicación práctica, y fijando $n_1=50$ (ver Figura 3), comprobamos que aparecen varias regiones de crecimiento y decrecimiento.

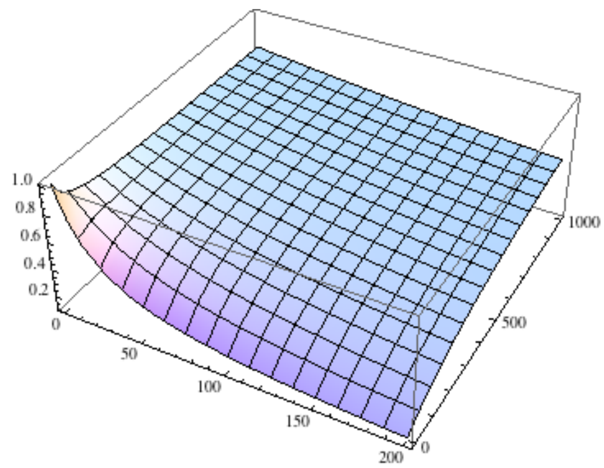

Figura 3. Representación de A para los valores prefijados
$n_1 = 50,\ \ 0 \le n_2 \le 200,\ \ 0 \le n_3 \le 1000,\ \ \alpha = 0.8,\ \ \beta=2$

En realidad, pueden establecerse las regiones que se expresan en el siguiente resultado:

Proposición 2: *El índice de adecuación* $A(n_1, n_2, n_3)$ *verifica*
a) $A(n_1, n_2, n_3)$ *aumenta si incrementamos* n_1 *y mantenemos* n_2 *y* n_3 *constantes.*
b) $A(n_1, n_2, n_3)$ *disminuye si incrementamos* n_2 *y mantenemos* n_1 *y* n_3 *constantes.*
c) Si incrementamos n_3 *y mantenemos* n_1 *y* n_2 *constantes se tiene que*

$$\bullet A \text{ aumenta si } \quad n_2 > \frac{(1-\alpha)}{\alpha\beta} n_1,$$
$$\bullet A \text{ disminuye si } \quad n_2 < \frac{(1-\alpha)}{\alpha\beta} n_1.$$

En la práctica, suele resultar más sencillo referirse al índice de adecuación como un porcentaje de adecuación dado por $P_A = A \times 100$. Por otro lado, la institución puede preferir conocer directamente el porcentaje de alternativas que precisarían acciones adicionales para que resultasen adecuadas. Este indicador, en principio, se puede considerar que es el complementario del índice de adecuación.

Definición 4: *Con la notación anterior, llamamos índice de intervención a*

$$I(n_1,n_2,n_3) = 1 - A(n_1,n_2,n_3) = \frac{\beta n_2 + (1-\alpha)n_3}{n_1 + \beta n_2 + n_3}, \qquad \alpha \in [0,1],\ \ \beta \ge 1. \tag{17}$$

Como ocurre con $A(n_1, n_2, n_3)$, el índice $I(n_1, n_2, n_3)$ permite calcular el porcentaje de intervención sin más que multiplicar por 100, $P_I = I \times 100$.

4.2. Índices de excelencia

Para calcular los índices de excelencia tendremos en cuenta la misma fórmula que se utilizó para el *grado integral de excelencia académica estudiantil*, ILSAE, propuesto en la revista Rect@ por Parada et al. (2015). Sin embargo, en este trabajo, como la propuesta es general, hemos preferido cambiar el nombre a "Exc" para que no haga referencia a estudiantes y permita expresar la excelencia entendida de forma relativa y de forma absoluta.

Supongamos que un grupo de expertos es capaz de determinar dos valores S_0 y S_1 tales que, dada la valoración global de una alternativa, G_i (expresión (14)), se tiene:

- Cuando $G_i \geq S_0$ consideramos que el individuo está en una situación "excelente" para abordar su tarea con éxito.
- Cuando $G_i \leq S_1$ consideramos que el individuo está en situación de gran riesgo de fracasar en la tarea.

Podemos conocer cuántos participantes están por encima o por debajo de los umbrales S_0 y S_1, es decir,

$$n_1 = \mathrm{card}\left\{A_i:\ G_i \geq S_0,\ 1 \leq i \leq n\right\}, \qquad n_2 = \mathrm{card}\left\{A_i:\ G_i \leq S_1,\ 1 \leq i \leq n\right\}, \tag{18}$$

y a partir de los valores n_1 y n_2 podemos establecer una estimación del nivel de excelencia global de la forma siguiente:

Definición 5: *Con la notación anterior, llamamos índice de excelencia global a*

$$\mathrm{Exc}(n_1,n_2,n_3) = \frac{100}{n_1+n_2+n_3}\sqrt{(n_1+n_3)\,n_1}\ . \tag{19}$$

Una vez determinada la expresión del indicador de excelencia en función de los valores n_1, n_2 y n_3, podemos distinguir los casos a los que nos hemos referido.

$$\mathrm{Exc}(n_1,n_2,n_3) = \begin{cases} \mathrm{E}^{\mathrm{A}}(n_1,n_2,n_3) & \text{si } n_1 \ y\ n_2 \text{ no dependen de los datos} \\ \mathrm{E}^{\mathrm{R}}(n_1,n_2,n_3) & \text{si } n_1 \ y\ n_2 \text{ dependen de los datos} \end{cases} \tag{20}$$

Está claro que E^{A} expresa el índice de excelencia absoluta y E^{R} expresa el índice de excelencia relativa. En este trabajo, los valores S_0 y S_1 se determinan a partir de números,

$$\gamma_0,\gamma_1,\gamma_0^{'},\gamma_1^{'} \in [0,1],\ \ \gamma_0 > \gamma_1,\ \ \gamma_0^{'} > \gamma_1^{'}$$

de la forma siguiente:

$$\mathrm{S}_0 = \begin{cases} \gamma_0 & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{A}}(n_1,n_2,n_3) \\ \gamma_0^{'} \times \mathrm{G}_T^{*} & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{R}}(n_1,n_2,n_3) \end{cases} \qquad \mathrm{S}_1 = \begin{cases} \gamma_1 & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{A}}(n_1,n_2,n_3) \\ \gamma_1^{'} \times \mathrm{G}_T^{*} & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{R}}(n_1,n_2,n_3) \end{cases} \tag{21}$$

donde $\mathrm{G}_T^{*} = \max_i \mathrm{G}_i$ para el periodo T.

Por propia construcción, el valor de Exc(n_1, n_2, n_3) informa del porcentaje de excelencia global alcanzado por el conjunto de alternativas que estamos analizando. De hecho, este indicador posee algunas propiedades que van a resultar útiles para nuestro objetivo.

Proposición 3: Dados N individuos, consideramos n_1 y n_2 como en la expresión (8). Entonces, se verifica lo siguiente:

a) El valor de Exc(n_1, n_2, n_3) está entre 100 n_1/N y 100.
b) Si $n_1=N$, entonces Exc(n_1, n_2, n_3) = 100.

c) Si $n_2=N$, entonces $\text{Exc}(n_1, n_2, n_3) = 0$.

Respecto a la relación entre Exc y el indicador ILSAE introducido en Parada et al. (2015), está claro que $E^R(n_1, n_2, n_3) = \text{ILSAE}(n_1, n_2, n_3)$.

5. Caso real: aplicación a la Universidad Industrial de Santander (Colombia)

Vamos a aplicar los indicadores anteriores a las valoraciones de los estudiantes de la Universidad Industrial de Santander de Colombia, UIS, en su sede de Bucaramanga. En esta sede, la UIS creó en 2014 el Sistema de Apoyo a la Excelencia Académica (SEA) con el objetivo de poner en marcha una política de excelencia académica y mejorar las condiciones de sus estudiantes. Se establecen programas de actuación en cinco dimensiones: económica, social, de salud, académica y cognitiva que han sido caracterizadas por varias variables con diferente importancia relativa.

a) *Dimensión económica*. Se analizan los ingresos de la dependencia económica (IDE), número de hermanos (NH), posición entre hermanos (PEH) y pago de alquiler durante el curso (PAL). A partir de ellas, se construye el indicador I_E de la forma siguiente:

$$I_E = \alpha_1^1 \text{ IDE} + \alpha_2^1 \text{ NH} + \alpha_3^1 \text{ PEH} + \alpha_4^1 \text{ PAL}, \tag{22}$$

donde cada una de las variables puede tomar valores comprendidos entre 0 y 1 y la suma de los pesos es 1. En la práctica, el SEA ha evaluado cada variable con una cantidad discreta de valores en [0, 1] (véase Apéndice) y los pesos han sido

$$\alpha_1^1 = 0.5, \quad \alpha_2^1 = 0.3, \quad \alpha_3^1 = 0.2, \quad \alpha_4^1 = 0.$$

b) *Dimensión social*. Está determinada por la disfunción familiar (DFA), a través del "Apgar familiar" (Smilkstein, 1978), obtenido por el área de Bienestar Universitario,

$$I_{SO} = \text{DFA} . \tag{23}$$

Por razones prácticas, el indicador I_S puede tomar cuatro valores {0.1, 0.5, 0.7, 1} dependiendo de la situación del Apgar familiar.

c) *Dimensión académica*. Actualmente tiene en cuenta tres ítems: Una prueba diagnóstica de Matemáticas UIS (PDM), la Aptitud numérica de EFAI-4 (ANU) y Prueba de Saber 11-Matemáticas (PSO) (para más información puede verse Parada et al, 2015), de forma que

$$I_A = \alpha_1^3 \text{ PDM} + \alpha_2^3 \text{ ANU} + \alpha_3^3 \text{ PSO}, \tag{24}$$

donde cada variable toma valores entre 1 y 3 y los pesos que se han utilizado son

$$\alpha_1^3 = 0.5, \quad \alpha_2^3 = 0.25, \quad \alpha_3^3 = 0.25.$$

Una vez conocida la valoración del indicador académico, I_A, se determina el nivel de desempeño matemático de cada alumno mediante una escala lingüística {Muy Bajo, Bajo, Medio Bajo, Medio, Medio Alto, Alto, Muy Alto}.

d) *Dimensión cognitiva*. Se utilizan cinco ítems: Razonamiento verbal (RV), razonamiento numérico (RN), razonamiento abstracto (RAB), memoria (MEM) y actitud espacial (AES). De forma que

$$I_C = \alpha_1^4 \text{ RV} + \alpha_2^4 \text{ RN} + \alpha_3^4 \text{ RAB} + \alpha_4^4 \text{ MEM} + \alpha_5^4 \text{ AES}, \tag{25}$$

a los que además, en la práctica, se le asignan los mismos pesos, es decir 0.2.
Los valores de las variables que participan en la dimensión cognitiva son una cantidad discreta {0.1, 0.5, 1}, de forma que cuanto más próximo esté a 0, mayor es el riesgo del alumno, y por tanto, mayor la necesidad de actuación.

e) *Dimensión de salud*. Se construye con ocho ítems, obtenidos del test de salud mental que lleva a cabo el área de Bienestar Universitario. Las variables son: Ansiedad (ANS), Depresión (DEP), Ajuste emocional (AEM), Dependencia alcohólica (DAL), consumo de sustancia psicoactivas (CSA), Enfermedades crónicas (ECR), Discapacidad (DIS) y “Pregunta 23” (P23), que hace referencia a la tendencia al suicidio. Así,

$$I_{SA} = \alpha_1^5\text{ANS}+\alpha_2^5\text{DEP}+\alpha_3^5\text{AEM}+\alpha_4^5\text{DAL}+\alpha_5^5\text{CSA}+\alpha_6^5\text{ECR}+\alpha_7^5\text{DIS}+\alpha_8^5\text{P23}. \qquad (26)$$

Como los pesos que ha asignado el SEA a cada una de ellas son las siguientes:

$$\alpha_1^5 = 0.25,\ \ \alpha_2^5 = \alpha_3^5 = \alpha_4^5 = 0.2,\ \ \alpha_5^5 = 0.15,\ \alpha_6^5 = \alpha_7^5 = \alpha_8^5 = 0.$$

Aunque hay variables que no modifican el nivel de riesgo (porque el multiplicador es 0), en la práctica se utilizan como una información adicional que puede servir para agrupar a los individuos con las mismas características y establecer actuaciones homogéneas.

Una vez se han caracterizado los estudiantes, y se ha determinado el nivel de riesgo en cada dimensión, se puede determinar que si la puntuación ha estado muy próxima a 0, el riesgo de vulnerabilidad es Muy Alto y se aconseja a los estudiantes participar en una serie de programas de acompañamiento. Si la puntuación se va aproximando 1, el riesgo de vulnerabilidad va disminuyendo hasta conseguir ser Muy Bajo. Ahora bien, si un estudiante con poco nivel de riesgo solicita ayuda para mantener o mejorar su rendimiento, la institución puede incluirlo en los programas que lleva a cabo para tal efecto.

6. Resultados obtenidos para la Universidad Industrial de Santander

6.1. Cálculo de indicadores de adecuación

En este trabajo, se analizan los datos de los dos semestres de 2015, los dos semestres de 2016 y el primer semestre de 2017 en las cinco dimensiones mencionadas (económica, social, de salud, académica y cognitiva).

La recogida de los datos varía mucho según la dimensión analizada, porque las unidades encargadas son distintas y valoran aspectos muy diferentes. Además, debido a dificultades técnicas en algún servicio de la institución o que la realización de alguna prueba es voluntaria, en ocasiones faltan muchos datos por recoger. En la Tabla 3 mostramos el porcentaje de datos válidos y faltantes por periodo

Tabla 3: Porcentaje de datos válidos y datos faltantes en cada dimensión.

	D. Económica		D. Social		D. Salud		D. Académica		D. Cognitiva	
	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F
2015/1	99.3	0.7	95.5	4.5	95.5	4.5	48.7	51.3	86.0	14.0
2015/2	100	0	12.6	87.4	12.9	87.1	80.7	19.3	80.7	19.3
2016/1	100	0	83.9	16.1	87.9	12.1	83.1	16.9	87.8	12.2
2016/2	100	0	78.4	21.6	78.4	21.6	69.1	30.9	50.9	49.1
2017/1	99.9	0.1	89.3	10.7	89.3	10.7	78.8	21.2	91.9	8.1

V: Porcentaje de datos válidos, F: Porcentaje de datos faltantes

Fuente: Elaboración propia.

Sirva como muestra del comportamiento desigual en los distintos periodos estudiados que en el periodo 2015/2, problemas técnicos dificultaron la recogida de información de la dimensión social y de salud, con un 87% de datos faltantes. En el periodo 2016/2, las dificultades estuvieron en la recogida de datos de la dimensión cognitiva. Estas cuestiones hacen que el análisis presente diferencias en algunos periodos.

En el análisis inicial nos planteamos eliminar del estudio las dimensiones que presentasen un porcentaje de datos faltantes superior al 25%. Esto permitía considerar la mayoría de estudiantes, pero dejaba fuera dimensiones que la institución considera claves, y esto hacía dudar de la utilidad e interpretación de los resultados. Por esta razón, se optó por tomar únicamente los estudiantes que tuvieran información de las cinco dimensiones, a pesar de que esto disminuyese la población de estudio en algún periodo.

A continuación mostramos, por pasos, cómo se ha realizado el cálculo del índice de adecuación.

PASO 1: *Determinación de rangos e ideales.* En primer lugar se determinan cuáles son los rangos en los que puede variar cada dimensión y cuáles son los objetivos ideales fijados (Tabla 4). Una vez establecidos, transformamos los rangos e ideales en intervalos, de acuerdo con lo que se indica en la Definición 1 (Tabla 5).

Tabla 4: Rangos de cada dimensión

Dimensión	2015/1	Resto	2015/1	Resto
Económica	[0, 0.5]	[0, 1]	[0, 0.5]	[0, 1]
Social	{0.1, 0.5, 0.7, 1}	{0.1, 0.5, 0.7, 1}	[0.1, 1]	[0.1, 1]
Salud	[0, 1]	[0, 0.65]	[0, 1]	[0, 0.65]
Académica	[0, 0.8]	{MB, B, mB, m, mA, A, MA}	[0, 0.8]	[1, 7]
Cognitiva	{MB, B, mB, m, mA, A, MA}	{MB, B, mB, m, mA, A, MA}	[1, 7]	[1, 7]

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Ideales de cada dimensión

Dimensión	2015/1	Resto
Económica	[0.4, 0.5]	[0.8, 1]
Social	[0.7, 1]	[0.7, 1]
Salud	[0.8, 1]	0.65
Académica	[0.9, 1]	[6, 7]
Cognitiva	[6, 7]	[6, 7]

Fuente: Elaboración propia.

PASO 2: *Normalización de datos.* Dado que cada dimensión está valorada de una forma y que los ideales no son necesariamente alcanzar el máximo posible en cada dimensión, se procede a normalizar todos los datos de acuerdo con (11). De esta forma hemos conseguido que en las cinco dimensiones todos los individuos tomen valores entre 0 y 1, de forma que cuanto más próximo a 1 esté el valor, mejores resultados habrá obtenido en cada dimensión.

PASO 3: *Cálculo de la valoración global.* Teniendo en cuenta la Definición 2, vamos a calcular la valoración global de cada estudiante. Con este fin, hemos considerado las ponderaciones w_1=0.25, w_2=0.125, w_3=0.125, w_4=0.3 y w_5=0.2 en todos los periodos, excepto en 2015/2 que se utilizan $w_1 = w_4 = w_5 = 1/3$, $w_2 = w_3 = 0$. Estos valores, que han sido acordados con especialistas de la UIS, logran que la parte cognitiva y académica suponga el 50% de la valoración y las restantes dimensiones el otro 50% (excepto en el periodo 2015/2).

PASO 4: *Parámetros del índice de adecuación.* Para poder calcular el indicador necesitamos agrupar los individuos en *función* del riesgo que presentan, es decir determinar los valores de n_1, n_2 y n_3. Siguiendo las indicaciones de expertos, suponemos que los estudiantes con un valor de G_i menor o igual a 0.45, tienen un riesgo alto de fracaso. Por el contrario, los estudiantes con un valor de G_i mayor o igual a 0.85 tienen un riesgo muy bajo de fracaso o pocas dificultades, es decir,

n_1 = número de estudiantes con $G_i \geq 0.85$,
n_2 = número de estudiantes con $G_i \leq 0.45$,
$n_3 = N - n_1 - n_2$.

Además, el índice de adecuación de cada periodo depende de dos parámetros α y β (ver expresión (16)). Se ha estimado que alrededor de un 20% de los alumnos que parecían no necesitar intervenciones de la institución, acaban necesitándola. Además, los alumnos con alto riesgo suelen precisar más de una intervención, por lo tanto, asignamos los valores $\alpha = 0.8$ y $\beta = 2$.

PASO 5: *Resultados: cálculo del índice de adecuación.* Con todos los datos que se han expresado en los pasos anteriores, se calcula el índice de adecuación para cada periodo (Tabla 6):

Tabla 6: Indice de Adecuación para cada periodo

	2015/1	2015/2*	2016/1	2016/2	2017/1
N	700	*964*	1248	343	1262
n_1	16	*25*	13	14	22
n_2	66	*104*	76	23	72
n_3	618	*835*	1159	306	1168
A	0.667	*0.649*	0.710	0.707	0.717

* Los datos de 2015/2 se han obtenido con 3 dimensiones.
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que los índices de adecuación toman valores alrededor del 65% en los dos periodos del 2015, y se incrementa hasta aproximadamente el 71% para los tres últimos periodos analizados. Esto significa que entre el 30% y el 35% de los estudiantes se consideran con carencias globales para realizar sus estudios de forma adecuada. A pesar de que los datos son coherentes para todos los periodos, debemos destacar que los datos relativos a 2015/2 se han obtenido con tres dimensiones (en lugar de cinco) y dándoles a todas el mismo peso. Esto hace que, a pesar de la coherencia, no podamos considerar el periodo totalmente comparable con el resto.

Por otro lado, creemos interesante resaltar que el índice de adecuación respeta fielmente la idea que la UIS se plantea con la creación del SEA: no es suficiente con una buena adecuación académica o intelectual, es necesario que la adecuación sea global.

6.2. Cálculo de indicadores de excelencia

Para calcular los índices de excelencia, los tres primeros pasos coinciden con los descritos en la sección 6.1. En el Paso 4, de acuerdo con la expresión (21), hacemos

$$\mathrm{S}_0 = \begin{cases} 0.85 & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{A}}(n_1,n_2,n_3) \\ 0.85\times \mathrm{G}_T^* & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{R}}(n_1,n_2,n_3) \end{cases} \qquad \mathrm{S}_1 = \begin{cases} 0.45 & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{A}}(n_1,n_2,n_3) \\ 0.45\times \mathrm{G}_T^* & \text{para } \mathrm{E}^{\mathrm{R}}(n_1,n_2,n_3) \end{cases}$$

donde $\mathrm{G}_T^* = \max_i \mathrm{G}_i$ para el periodo T.

A partir de estos S_0 y S_1, determinamos los valores de n_1, n_2 y n_3 de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} n_1 &= \mathrm{card}\{\text{estudiantes} : \mathrm{G_i} \geq \mathrm{S}_0,\ 1 \leq i \leq n\}, \\ n_2 &= \mathrm{card}\{\text{estudiantes} : \mathrm{G_i} \leq \mathrm{S}_1,\ 1 \leq i \leq n\}, \\ n_3 &= N - n_1 - n_2. \end{aligned}$$

En el Paso 5, calculamos los índices de excelencia aplicando la fórmula dada en (19), es decir

$$\mathrm{Exc}(n_1,n_2,n_3) = \frac{100}{n_1+n_2+n_3}\sqrt{(n_1+n_3)n_1}$$

A continuación presentamos en la Tabla 7 los valores obtenidos para los indicadores en todos los periodos analizados.

Tabla 7: Comparación entre los índices de adecuación y excelencia.

Estudiantes	Umbrales (absolutos)	Umbrales (relativos)	2015/1	2015/2*	2016/1	2016/2	2017/1
N			700	*964*	1248	343	1262
n_1	S_0=0.85	S_0=0.85 G^*_T	16	*25*	13	14	22
n_2	S_1=0.45	S_1=0.45 G^*_T	66	*104*	76	23	72
n_3	resto	resto	618	*835*	1159	306	1168
ÍNDICES EN PORCENTAJE							
Adecuación: $100 \times A$			66,63	*64,89*	71,01	70,71	71,69
Excelencia (relativa): E^R			40,43	*45,64*	40,18	41,23	40,19
Excelencia (absoluta): E^A			14,39	*15,21*	9,89	19,51	12,82

* Los datos de 2015/2 se han obtenido con 3 dimensiones.
* G^*_T es el máximo valor de G_i alcanzado en el periodo T.
Fuente: Elaboración propia.

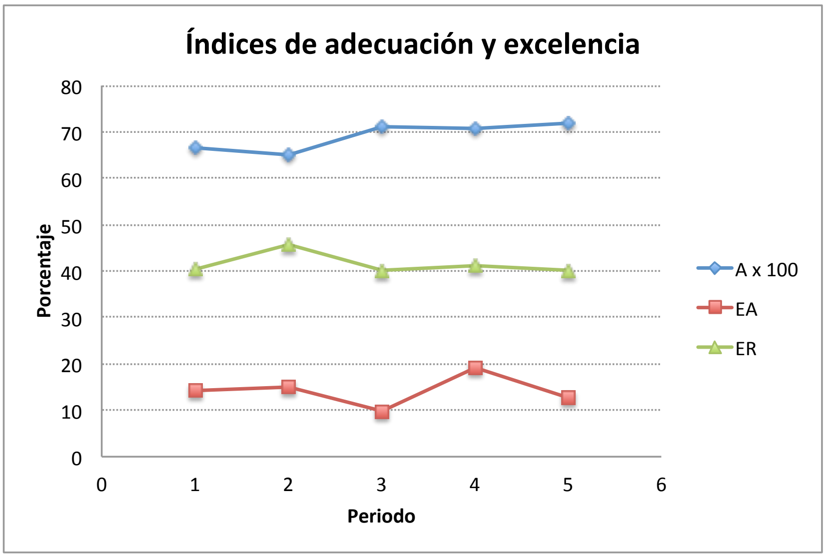

Figura 3: Valores de los índices de adecuación y excelencia expresados en la Tabla 14.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3, que muestra un gráfico con los valores de todos los indicadores, se puede comprobar el nivel de exigencia de cada uno de los índices que hemos construido.

6.3 Discusión

No queremos acabar esta sección sin incluir una discusión acerca del uso de indicadores. Muchas instituciones deciden basar algunas de sus decisiones estratégicas en el uso de indicadores que eligen de un catálogo, siguiendo opiniones genéricas de expertos. En ocasiones, esta elección puede conllevar uno o varios de los incovenientes siguientes:

a) Hace descartar muchos de los datos que la institución ha recogido durante bastante tiempo, con lo cual se han desaprovechado recursos.
b) Se utilizan datos históricos sin tener garantías de que se trata de datos originales o si son indicadores parciales que podrían sobrevalorar algún criterio con la mezcla de datos.
c) La mejor opción para todos los criterios, no tiene por qué ser el máximo o el mínimo que puede alcanzar, sino que podría estar en valoraciones intermedias. En este sentido, la institución debería asegurarse de que no está agregando valoraciones que siguen finalidades diferentes.

Los indicadores de adecuación e intervención que hemos propuesto salvan los incovenientes que acabamos de citar, puesto que los datos se homogeneizan teniendo en cuenta las características establecidas por la institución (criterios, objetivos ideales, etc.). Sin embargo, como acabamos de analizar, se trata de índices que pueden ser muy sensibles a variaciones de algunos parámetros establecidos por expertos. En gran parte, el éxito del proceso puede radicar en una elección adecuada de esos parámetros.

No podemos pasar por alto que no hemos analizado la sensibilidad del indicador a los pesos que se establecen para cada criterio. Aunque sin duda se trata de un tema controvertido y de interés (Cables et al. 2016), como se ha expuesto anteriormente, en el caso real estudiado, los pesos se han establecido a través del consenso entre distintas secciones de la UIS. Por lo tanto, en nuestro trabajo, analizar los efectos de modificar los pesos tendría interés teórico, pero en la práctica no deberían modificarse.

Por último, es necesario destacar que, en ocasiones, pasamos por alto la dificultad de llevar a la práctica las propuestas académicas. En este caso, todos los cálculos se pueden llevar a cabo con una versión estándar de MSExcel®. Como hemos podido comprobar con las distintas secciones de la Universidad Industrial de Santander, esto ha facilitado mucho la recogida y el manejo de los datos.

7. Conclusiones

El uso conjunto de indicadores y métodos de MCDA, constituyen una herramienta de gran utilidad para ayudar en la toma de decisiones. Por un lado, permiten facilitar la selección de las mejores alternativas a través de la evaluación de cada una ellas y por otro sintetizar la información y extraer conclusiones de forma rápida. Estos son los objetivos últimos de nuestro planteamiento.

El primer obstáculo a salvar ha sido homogeneizar y normalizar datos de naturaleza muy diferente: números reales, intervalos o variables lingüísticas, que evalúan características muy dispares y cuya agregación no tiene sentido hacerla directamente. En este trabajo hemos propuesto un método de normalización basado en Cables et al. (2016) que evalúa la similitud con los objetivos ideales fijados por la institución para cada para cada criterio.

En este trabajo se realiza una propuesta metodológica, que consiste en la construcción de un indicador sintético, denominado índice de adecuación, cuya finalidad es permitir a las instituciones efectuar una valoración global de las alternativas disponibles para llevar a cabo una determinada acción, al tiempo que facilita una clasificación de las alternativas en grupos, en función de la adecuación para una tarea concreta.

El método propuesto se aplica a un caso real de toma de decisiones en la Universidad Industrial de Santander. Uno de los objetivos de esta universidad es prestar apoyo a los estudiantes que muestran deficiencias en la valoración global de las cinco dimensiones con las que trabaja la institución. Como los recursos, tanto económicos como humanos, no permiten ofrecer apoyo a todo el alumnado, la universidad debería establecer un criterio de adecuación que permitiese:

- estimar el porcentaje de estudiantes que no tendrán problemas para realizar sus estudios con éxito y el de aquellos que necesitarán algún apoyo.
- conocer la situación personal de cada alumno, de manera que se intente garantizar el apoyo a aquellos que más lo necesiten.

A través del Sistema de Apoyo a la Excelencia Académica de los Estudiantes (SEA), la universidad lleva organizando acciones para ayudar a los estudiantes con problemas desde el año 2014, por ejemplo con cursos de refuerzo de Matemáticas. La intención de aplicar esta metodología es que estas acciones se puedan planear y generalizar en aras de una optimización de recursos de toda índole, manteniendo al estudiante como protagonista de la toma de decisiones.

Referencias bibliográficas

1. Acuña-Soto, C. M., Liern, V., Pérez-Gladish, B. (2017). Multiple Criteria performance evaluation of YouTube mathematical educational videos by IS-TOPSIS. Operational Research, (submited).
2. Cables, E., Lamata, M.T., Verdegay, J.L. (2016). RIM—reference ideal method in multicriteria decision making. Information Sciences, 337-338, 1–10.
3. Canós, L., Casasús, T., Liern, V., Pérez, J.C. (2014). Soft computing methods for personnel selection based on the valuation of competences, International Journal of Intelligent Systems. 29, 1079–1099.
4. Carlsson, C., Fullér, R. (2002). Fuzzy Reasoning in Decision Making and Optimization, Physica-Verlag, Heidelberg.
5. Herrera, F., Martínez, L. (2000). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 8, 746–752.
6. Herrera, F., Martínez, L. (2001). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 31, 227–233.
7. https://www.uis.edu.co/webUIS/es/estudiantes/excelenciaAcademica/index.html
8. Liern, V., Perez-Gladish, B. (2018). Ranking corporate sustainability: a flexible multidimensional approach based on linguistic variables. International Transactions in Operational Research, 25(3), 1081–1100.
9. Parada, S. E., Fiallo, J. E., Blasco, O. (2015). Construcción de indicadores sintéticos basados en juicio experto: Aplicación a una medida integral de la excelencia académica, Rect@, 16, 51 – 67.
10. Smilkstein, G. (1978). The family APGAR: A proposal for family function test and its use by physicians. The Journal of Family Practice, 6 (6) 1231–1239.
11. Xu, Z. S. (2004). A method based on linguistic aggregation operators for group decision making with linguistic preference relations, Information Sciences, 166, 19–30.
12. Xu, Z. S. (2012). Linguistic Decision Making: Theory and Methods, Science Press, Beijing, y Springer-Verlag, Berlin.
13. Yager, R. R. (1992). Applications and extensions of OWA aggregations. International Journal of Man-Machine Studied, 37, 103–132.
14. Yager, R. R. (1995). An approach to ordinal decision making. International Journal of Approximate Reasoning, 12, 237–261.
15. Zeng, W., Guo, P. (2008). Normalized distance, similarity measure, inclusion measure and entropy of interval-valued fuzzy sets and their relationship. Information Sciences, 178, 1334 – 1342.