

La Lógica Difusa como herramienta de evaluación en el sector universitario

Fuzzy Logic as an evaluation tool in the university sector

Boris Asdrúbal Arroyo

Universidad Politécnica Territorial "José Félix Ribas"
arrobora@gmail.com

Nancy Teresa Antolínez

Universidad Politécnica Territorial "José Félix Ribas"
nancyter@gmail.com

Recibido: 22 de junio de 2015 / Aceptado: 2 de diciembre de 2015

Resumen

Este artículo presenta los avances parciales de una investigación sobre la aplicación de la Lógica Difusa en la valoración actitudinal en estudiantes universitarios. Circunscrita en el Paradigma Mixto, utiliza la Teoría Fundamentada, grupos de discusión y entrevistas, además de técnicas, instrumentos y procedimientos difusos, para generar, desde la perspectiva de una muestra intencional de dieciséis profesores expertos de la Universidad Politécnica Territorial "José Félix Ribas", en Barinas, Venezuela, una aproximación a la valoración actitudinal que se realiza en este contexto. Los principales resultados hasta el momento, consisten en la definición de las actitudes relevantes del proceso de evaluación, su ponderación relativa y la escala difusa a utilizar en dicha valoración.

Palabras clave: Educación universitaria, lógica difusa, evaluación del estudiante, valores sociales, actitudes, evaluación actitudinal.

Abstract

This paper presents the partial advances of a research about the application of fuzzy logic in the attitudinal evaluation in university students. It is circumscribed in the Mixed Paradigm. It uses the Grounded Theory, focus groups and interviews, in addition to techniques, instruments and fuzzy procedures, to generate, from the perspective of a purposive sample of sixteen expert professors of the Territorial Polytechnic University "José Félix Ribas", in Barinas state, Venezuela, an approach to the attitudinal assessment that is realized in this context. The main results so far, include the definition of relevant attitudes of the evaluation process, their relative weighting and the fuzzy scale to be used in the above mentioned assessment.

Keywords: Higher education, Fuzzy Logic, student evaluation, social values, attitudes, attitudinal assessment.

Introducción

En América Latina los sistemas de educación universitaria han venido enfrentando cambios significativos debido a múltiples causas. Entre otras: la globalización y el avance de las tecnologías de información y comunicación, que traen consigo la diversificación de las ofertas de estudio; el incremento en el acceso a las universidades para las minorías como las etnias indígenas y personas con discapacidad que tradicionalmente eran excluidas; y también, las exigencias de la sociedad del conocimiento, como la educación para toda la vida y la formación con responsabilidad social. Ello ha obligado a los organismos gubernamentales, a tener que involucrarse con mayor compromiso en los procesos tendentes a garantizar la acreditación de la calidad universitaria, trabajando mancomunadamente con instituciones internacionales y empresas del sector privado, a lo cual se ha denotado como la Tercera Reforma de la Educación Superior (UNESCO-IESALC, 2006).

En opinión de Pedro Guajardo, director del Instituto Internacional para la Educación Superior en América Latina y El Caribe: IESALC, la reforma representa, para la región, enfrentar varios desafíos (UNESCO-IESALC, 2014). El desafío de la equidad y la inclusión, garantizando sin segregaciones el acceso, la permanencia y el logro académico universitario a todos los ciudadanos; el desafío de la regulación, posibilitando la convivencia pública-privada en la evaluación de procesos y resultados, que orienten la búsqueda de la excelencia; el desafío del financiamiento, replanteando la educación como componente prioritario de la inversión social; y el desafío de la institucionalidad y la organización, destacando el desarrollo a partir de la cooperación entre organismos, que dé cabida a todas las manifestaciones intermediarias ante el gobierno.

Estos desafíos plantean en consecuencia, mayores exigencias en relación con los estándares de calidad que son considerados en los procesos de evaluación, ya sea ésta de índole institucional, como es el caso de las políticas, de los procesos

administrativos o de la pertinencia social de las universidades; o si se tratase de valorar el desempeño de su personal docente o de los estudiantes universitarios, entre otros aspectos.

En este orden de ideas, los cambios en materia de regulación educativa han impulsado la búsqueda de criterios e instrumentos novedosos para evaluar la calidad de las universidades, donde se propicie el concurso de las experiencias y pareceres del mayor número posible de actores involucrados. Valorar las distintas opiniones y desarrollar un constructo consensuado al respecto, implica innovar con mecanismos de negociación que resulten eficaces y a su vez sean confiables para los colectivos. En otras palabras se debe partir de la propia evaluación de las estrategias, técnicas e instrumentos de valoración que sean utilizados.

Sin embargo, es tal la complejidad implícita, que al revisar los resultados de las distintas iniciativas regionales apenas se han logrado avances en cuanto a políticas y directrices generales. En este sentido, Ramos y Henríquez (2014), mencionan las reuniones en los Espacios de Encuentros Latinoamericano y Caribeño de Educación Superior: –ENLACES– en las cuales se manifiesta la importancia de potenciar la equidad, calidad y pertinencia de los entes educativos universitarios para promover un desarrollo sostenible de la humanidad, estableciendo de forma precisa la responsabilidad que tienen los gobiernos al considerar a la educación superior como un bien público. Además, las mismas concretan la necesidad que tienen las universidades de colaborar con la formación de ciudadanos con un pensamiento crítico, socialmente activos, comprometidos con el desarrollo sustentable de las naciones, defensores de los derechos humanos y responsables de la preservación ambiental en todos sus ámbitos.

Estas exigencias requieren de una reformulación en las estrategias utilizadas en el intercambio de saberes dentro de las universidades, pero además implican el rediseño de instrumentos que permitan evaluar el avance de los estudiantes respecto a las competencias para el desarrollo



sustentable. Es una labor que debe ser desarrollada con paciencia, empatía y tolerancia, pues debe partir por intentar el consenso entre profesores y estudiantes sobre criterios de evaluación y ponderación de los mismos.

La definición de actitudes y valores, por su propia naturaleza, implica una gran carga subjetiva de los entes evaluadores. Igual que muchos conceptos en el contexto de evaluación universitaria (pertinencia social de las universidades, políticas de inclusión, valoración del desempeño docente, calidad de la educación, entre otros), son considerados constructos de difícil valoración, pues resultan intangibles y dependientes de la interpretación humana, aspecto que agrega ambigüedad o vaguedad a la evaluación porque hace que sea función de las vivencias particulares.

El que existan conceptos ambiguos no es el único problema que se presenta al evaluar constructos educativos, también en muchas ocasiones deben tomarse decisiones sobre tópicos de los cuales se posee poca o ninguna información. Por otra parte los instrumentos de evaluación en estos casos, presentan una precisión insuficiente. En tales situaciones los seres humanos prefieren la apreciación aproximada mediante etiquetas cualitativas lingüísticas. Estas etiquetas; tales como “bueno”, “adecuado”, “inconveniente”, “desacertado”, “más o menos”, “regular” entre otras, introducen variaciones conceptuales de un contexto social a otro, e incluso entre individuos dentro de una misma comunidad.

Cuando se da el caso de vaguedad, imprecisión y/o falta de datos, se dice que hay incertidumbre. En estas ocasiones las técnicas e instrumentos propuestos por la Lógica Difusa (LD), han resultado más eficientes que las utilizadas por la lógica tradicional, aristotélica o binaria, es por ello que en presencia de fenómenos inciertos se han venido empleando métodos difusos (Ma y Zhou, 2000; Nykänen, 2006; Huapaya, Lizarralde y Arona, 2012; Briceño, Arandes, y Zerpa, 2011; Payán y Luhrs, 2013).

En el contexto venezolano la incertidumbre está presente en muchas situaciones políticas, eco-

nómicas y sociales. El sector educativo no escapa a ello, particularmente en las universidades. Por mencionar uno de los problemas, el otrora Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria: MPPEU (ahora también para la Ciencia y la Tecnología: MPPEUCT) insta a la formación de valores en los estudiantes, sin embargo no especifica técnicas ni instrumentos a utilizar y tampoco existe experiencia en el país al respecto, lo cual ha propiciado la incertidumbre entre los docentes universitarios al momento de llevar a la práctica esta directriz nacional (Arroyo, 2013).

En consecuencia, este artículo analiza la posibilidad de aplicar la LD como método alternativo en la evaluación de constructos educativos, específicamente en el contexto universitario. Para su mejor entendimiento se describen resultados parciales de una investigación con mayor alcance, que se lleva a cabo para la Universidad Politécnica Territorial “José Félix Ribas” (UPTJFR), del Estado Barinas en Venezuela, cuyo propósito es la creación de un Sistema Difuso para la Valoración del Componente actitudinal de los Estudiantes.

Metodología

La mencionada investigación valida el uso de la LD como herramienta para la evaluación de actitudes en estudiantes universitarios, y posibilita la generación de un Sistema Difuso que pueda ser aplicado de forma general, independientemente de los constructos educativos que se deseen evaluar. Esto la ubicaría, según los teóricos al respecto, dentro del primer paradigma en investigación educativa, es decir el Paradigma Positivista o Cuantitativo (Hernández, Fernández, y Baptista, 2010; Nieto y Rodríguez, 2009), pues se vislumbra un interés en predecir o controlar cualquier proceso de evaluación. Sin embargo, la evaluación de constructos (como son los valores y actitudes) no puede ser apreciada en toda su magnitud utilizando métodos cuantitativos tradicionales, en su lugar se recomienda, entre otras estrategias, la triangulación de métodos; por ejemplo complementar el empleo de escalas de actitud con técni-



cas cualitativas como la observación sistemática y/o la aplicación de sesiones en profundidad.

Por otra parte la posición epistemológica asumida es que la realidad es una construcción histórica social del ser humano, por tanto es dinámica y situacional. Los individuos interpretan de diversas formas los fenómenos que los rodean, dependiendo de sus estructuras cognitivas forjadas a partir de las propias vivencias. Por tanto, el componente axiológico de quien investiga; sus creencias, opiniones y sentimientos, influyen directamente en la representación que haga sobre la realidad, lo que conduce a concluir que no existen interpretaciones totalmente objetivas y ontológicamente el investigador no puede adoptar una actitud externa al objeto en estudio (posición opuesta al fundamento filosófico del Positivismo).

Todas estas razones conducen a la utilización de la complementariedad de métodos, ubicándose la investigación dentro del Paradigma Mixto (Creswell, 2013), siendo empleado el diseño exploratorio secuencial: DEXPLOS, en su modalidad derivativa, ya que en ésta "... la recolección y el análisis de los datos cuantitativos se construyen sobre la base de los resultados cualitativos" (Hernández et al., 2010, p. 564), adaptándose al propósito planteado, porque para diseñar un Sistema Difuso que sirva en la valoración de actitudes de los estudiantes, debe analizarse previamente lo que esto significa para los profesores, a partir de un proceso hermenéutico colectivo dentro del contexto particular.

En este sentido se ha logrado, hasta el momento, concluir con la fase cualitativa de la investigación y un avance modesto en la fase cuantitativa. En la primera etapa, se emplearon como métodos el Análisis de Documentos y la Teoría Fundamentada: TF (Hernández et al., 2010; Trinidad, Carrero y Soriano, 2006; Strauss y Corbin, 2002), utilizándose entrevistas semiestructuradas, sesiones de grupos de discusión, muestreo teórico y saturación de la muestra (conceptos básicos de la TF), lo cual determinó el número de participantes de la fase en veintiún (21) profesores de ochenta y dos (82) que conformaban la población para el

momento en la UPTJFR, todos ellos seleccionados intencionalmente por su comprobada experiencia dentro de la institución en la valoración del componente actitudinal de los estudiantes. Respecto a la parte cuantitativa, han sido empleadas técnicas e instrumentos propios de la LD, utilizándose la opinión de dieciséis (16) profesores considerados los idóneos por poseer el mayor criterio de autoridad en la materia, siendo ésta una de las estrategias sugeridas por la LD (la opinión de expertos).

Cabe mencionar que el rigor científico de la fase cualitativa, queda determinado por la aplicación de triangulación de investigadores, ya que interactuaron dos investigadores en la interpretación de los datos habiendo obtenido resultados similares; el uso de triangulación de técnicas e instrumentos (revisión de documentos, grupos de discusión y entrevistas semiestructuradas) y la triangulación de tiempo, ya que los instrumentos fueron aplicados en fechas distantes. Además, los datos originales se conservan en resguardo de la Coordinación Académica de los investigadores, a disposición de posteriores verificaciones o análisis en caso de requerirse. Por su parte los instrumentos utilizados hasta ahora en la fase cuantitativa, han sido validados suficientemente a nivel internacional en anteriores investigaciones (por ejemplo: Huapaya, Lizarralde y Arona, 2012; Briceño, Arandes, y Zerpa, 2011; Payán y Luhrs, 2013).

Concretamente los pasos metodológicos realizados en la investigación hasta el momento son los siguientes:

1. Caracterización del proceso de evaluación actitudinal en estudiantes de la UPTJFR (a partir de 3 grupos de discusión y 7 entrevistas semiestructuradas, en un total de 21 profesores)
2. Definición de la ponderación de cada actitud dentro de la evaluación del componente actitudinal (usando Relaciones de Preferencias Multiplicativas), desde la percepción de 16 profesores expertos.
3. Determinación de la Escala Difusa de Evaluación de Actitudes (aplicando los procesos de expertizaje y contraexpertizaje, por los mismos profesores expertos del segundo paso).



Está planificado además: la definición de Reglas de Inferencia Difusa, la elaboración de instrumentos de acopio de calificaciones actitudinales de los estudiantes, la automatización de los cálculos difusos para la obtención de calificaciones definitivas, y el diseño de instrumentos para validar el proceso de evaluación difusa una vez ejecutado. Todos estos términos y procesos propios de la LD, son descritos a continuación.

Acerca de la Lógica Difusa

La LD, cuya creación se atribuye al azerbaiyano Lotfi Zadeh en la década de los años sesenta del pasado siglo (Zadeh, 1965), ha sido desarrollada básicamente en distintas prácticas disciplinares, especialmente en las relacionadas con control de procesos industriales, el sector de la computación y numerosas aplicaciones en la economía (Ross, 2010; Pérez y León, 2007). Como ejemplos de su uso en el área de la evaluación pueden referirse entre otros: El estudio de Payán y Luhrs (2013), que produjo un modelo de inferencia difusa para el análisis de programas sociales; Manjarrés, Castell y Luna (2013), quienes diseñaron una evaluación de las competencias más comunes relacionadas con determinado tipo de empleados, aplicando la LD en el análisis de resultados; y la investigación de Huapaya, Lizarralde y Arona (2012), que plantea una metodología alternativa a

los procedimientos estadísticos tradicionales, para diagnosticar estudiantes en Ingeniería con conocimientos insuficientes al nivel de aprobación.

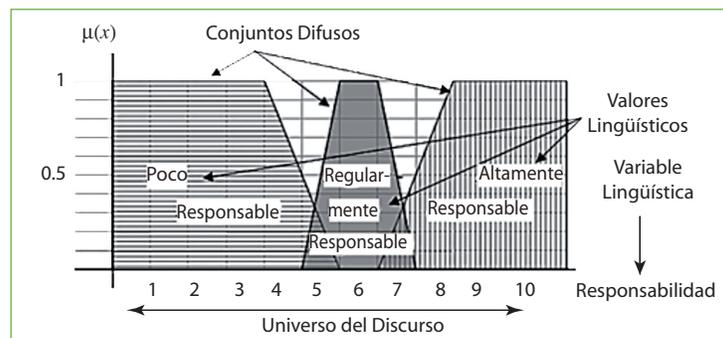
Esta teoría se fundamenta en los conjuntos de números difusos o borrosos, que denotan en esencia grupos de elementos que pertenecen con intensidades o grados diversos a una cierta categoría. Posibilita la existencia de múltiples niveles entre los valores extremos de cada intervalo, incluso con la oportunidad de establecer referencias de parecido entre los límites y sus matices internos (Pérez y León, 2007; Klir y Yuan, 1995).

Lo anterior contrasta con el mundo ideal planteado por la Lógica Clásica (LC), que se basa en la pertenencia o no de los elementos a cada categoría. Por consiguiente, la LD tiene un mayor parecido con la realidad de los fenómenos sociales, donde se emplean expresiones cuyas fronteras no están definidas nítidamente, como en el caso de los términos: familiar, rápidamente, aproximado, antiguo, novato, cálido, experimentado, fugaz, fuerte, sumiso, autoritario,..., posibilitando la clasificación de un objeto o fenómeno en varias categorías conceptuales al mismo tiempo, según sea la escala que utilice quien emita el juicio.

Las Funciones de Pertenencia

Una de tantas alternativas para representar los conjuntos difusos es por medio de una *Función de Membresía* o *Pertenencia* (μ).

Figura 1. Ejemplo de Función de Pertenencia



Fuente: Adaptado de Shinghal (2013) y Ross (2010).



En esta representación (Figura 1), el concepto que se califica de manera difusa es la *variable lingüística*, mientras que los diferentes valores que toma o le son asociados constituyen los *valores lingüísticos*. Adicionalmente, cada valor lingüístico es a su vez otro conjunto difuso, y al rango de valores que puede tomar la variable lingüística se le conoce con el nombre de *Universo del Discurso*, *Conjunto Universal* o simplemente *Dominio* (U).

La *Función de Pertenencia* (μ) asigna a cada elemento de U un grado de membresía o pertenencia con el conjunto difuso, el cual siempre se encuentra en el intervalo $[0, 1]$; si toma el valor uno (1), significa que cumple totalmente con la condición o característica del conjunto difuso, mientras un valor de cero (0) equivaldría a decir que el elemento no cumple esa condición.

La diferencia entre la LD y la LC estriba en que la primera puede establecer grados de pertenencia a un elemento del conjunto, lo cual implica la validez de pertenencia parcial (valoraciones entre 0 y 1), mientras que en la segunda esto es imposible, ya que la LC solo permite la pertenencia (valor 1) o exclusión (valor 0) total a cada categoría.

En cuanto a las características de las funciones de pertenencia, las hay de formas variadas. La Figura 1, ilustra las que fueron empleadas en la investigación que origina este artículo; de izquierda a derecha, funciones denominadas *Ele* (L), *Trapezoidal* y *Gamma* (Γ). Sin embargo la literatura (Shinghal, 2013 y Ross 2010, entre otros) describe tipos adicionales de funciones de pertenencia tales como la triangular y en forma de campana (Gauss).

Creación de Funciones de Pertenencia a partir de expertos

Existen muchas formas de obtener la Función de Pertenencia de un conjunto difuso. La usada en esta investigación es el método basado en *expertizaje* y *contraexpertizaje*, que son herramientas que permiten valorar las opiniones de

distintos expertos sobre una cuestión determinada (Kaufmann y Gil, 1993).

El *expertizaje* consiste en recabar las opiniones expertas sobre el objeto de estudio, y luego establecer una banda global que agrupa todos los valores límites dados por los expertos para cada categoría difusa. En el caso particular, a partir del parecer de los docentes expertos de la UPTJFR sobre la valoración de actitudes (de los grupos de discusión y entrevistas), surgieron las categorías Crítica, Moderada, Regular, Buena y Excelente, las que posteriormente serán detalladas.

Una vez establecidas las bandas globales de variación de cada categoría por el *expertizaje*, se aplica el proceso de *contraexpertizaje* preferiblemente a expertos distintos de los que participan inicialmente. Ello finaliza con una tabla de frecuencias relativas denominada *expertón*, a partir de la cual se redefinen los límites de cada categoría, reduciendo la amplitud de las bandas y aumentando la calidad de las funciones (para profundizar el tema se recomienda revisar Kaufmann y Gil, 1993; y Briceño, Arandes, y Zerpa, 2011).

Toma de decisiones en grupo usando técnicas difusas

La toma de decisiones es un proceso cognitivo mediante el cual a partir de un grupo o conjunto de alternativas se selecciona la mejor de éstas bajo un criterio específico. En la UPTJFR, la ponderación de las valoraciones de actitudes sobre el componente actitudinal y la selección de estrategias, técnicas e instrumentos que se empleen al respecto, son procesos individuales de toma de decisiones, pues cada docente decide qué hacer dentro de las Unidades Curriculares en las cuales comparte conocimientos. Sin embargo, al momento de analizar la situación del desempeño estudiantil (Arroyo, 2013), se transforma en un proceso colectivo de toma de decisiones dentro de los Consejos de Integración y Vinculación Social Pedagógicos (CIVSP), pues el análisis es efectuado mancomunadamente entre los distintos docentes que intercambian conocimientos con cada estudiante.



Por ser estos procesos altamente subjetivos, pues involucran juicios de valor fundamentados en la experiencia de los docentes con sus discentes durante cada tramo académico, pueden ser considerados de naturaleza incierta, vaga o difusa y es conveniente utilizar los métodos sugeridos por la LD para la toma de decisiones en grupo.

En tal sentido, Burgos (2006), señala como forma de expresión de las ideas u opiniones de cada individuo, las posibilidades siguientes:

1. Hacer uso de un Vector Ordenado de Alternativas. Aquí cada experto e_i , de acuerdo con sus preferencias, provee un conjunto ordenado de las alternativas X_n de la forma $O^i = \{o^i(1), o^i(2), o^i(3), \dots, o^i(n)\}$, donde $o^i(\cdot)$ constituye una permutación sobre las n alternativas para ese experto; a menor posición de una alternativa en el orden de preferencia, mayor la satisfacción del experto por esa opción.
2. Por medio de un Vector de Utilidad. En este caso cada experto e_i asocia una utilidad o beneficio potencial a cada una de las n alternativas en la forma $U^i = \{u^i(1), u^i(2), u^i(3), \dots, u^i(n)\}$, donde los valores de utilidad son directamente proporcionales a la satisfacción percibida al seleccionar las alternativas.
3. Empleando Relaciones de Preferencia Difusas. Una relación de preferencias difusa P sobre el conjunto de alternativas X es un conjunto difu-

so definido sobre el conjunto producto $X \times X$, es decir que puede ser representado mediante una Función de Pertenencia $\mu_P: X \times X \rightarrow [0, 1]$. Cuando el cardinal de X es pequeño, la relación de preferencias difusa puede ser arreglada convenientemente en una matriz $n \times n: P = [p_{ij}]$, siendo $p_{ij} = \mu_P(x_i, x_j) \forall i, j \in \{1, \dots, n\}$; cada p_{ij} es el grado o intensidad de preferencia de la alternativa x_i sobre x_j . Los mismos cumplen las reglas siguientes:

- $p_{ij} < 1/2$, indica que la alternativa x_j es absolutamente preferida a x_i ($x_j \succ x_i$).
- $p_{ij} > 1/2$, indica que la alternativa x_i es preferida a x_j ($x_i \succ x_j$).
- $p_{ij} = 1$, indica indiferencia entre las alternativas ($x_i \sim x_j$).

4. Utilizando Relaciones de Preferencia Multiplicativas. Por esta vía, las preferencias en el conjunto de alternativas X de un experto, son descritas por una relación de preferencias positiva; $A^k \subset X \times X$; $A^k = [a_{ij}^k]$, donde a_{ij}^k puede ser interpretado como la cantidad de veces que el experto e_k considera a la alternativa x_i tan buena como la alternativa x_j . Los valores que pueden tomar cada a_{ij}^k estarán referidos a una escala de tipo ordinal. Una de las más utilizadas es la Escala Endecadaria (Tabla 1).

Tabla 1. Escala Endecadaria de Proceso Analítico Jerárquico

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Importancia igual	Las alternativas contribuyen en igual intensidad
3	Importancia moderada	El juicio y experiencia favorecen ligeramente una alternativa sobre otra
5	Importancia fuerte	El juicio y experiencia favorecen fuertemente una alternativa sobre la otra
7	Importancia muy fuerte o importancia demostrada	Una alternativa es favorecida muy fuertemente sobre la otra. En la práctica se puede demostrar su dominio
9	Importancia extrema	La evidencia favorece en la más alta medida a una alternativa frente a la otra
2, 4, 6, 8	Transición entre dos escalas adyacentes	Existe compromiso entre dos niveles continuos de importancia

Fuente: Adaptado de Saaty y Vargas (2012).



En esta investigación, para expresar la valoración que dan los docentes de la UPTJFR a las actitudes que evalúan en sus estudiantes, se empleó una *Relación de Preferencia Multiplicativa*, porque parte desde la comparación de pares de alternativas, lo que resulta más fácil para los docentes al momento de llevar a la práctica. Luego para determinar la ponderación que dan éstos a cada actitud, se efectúan los pasos siguientes (Teknomo, 2006):

1. Se normaliza la matriz A^k dividiendo cada uno de sus elementos por la sumatoria de todos los elementos de la columna que lo contiene.
2. Se determina el *auto-vector* o *vector de prioridad* (w^k) del experto e_k , calculando el promedio aritmético de cada fila de la matriz normalizada. Cada promedio así calculado corresponde a la ponderación, respecto al criterio utilizado, de la alternativa asociada previamente con la fila de la matriz.
3. Se calcula el máximo auto-valor (λ_{\max}^k) sumando los productos de cada elemento del *auto-vector* (w^k) por el total de cada columna de la matriz A^k (la original, aún no normalizada).
4. Se halla el *Índice de Consistencia* (CI^k) aplicando la fórmula siguiente: $CI^k = (\lambda_{\max}^k - n) / (n - 1)$, donde n es el número de opciones o alternativas.
5. Se determina la *Tasa de Consistencia* (CR^k) por sus siglas del término en inglés; Consistency Rate), para lo cual se aplica la fórmula siguiente: $CR^k = CI^k/RI$. Si el CR^k resulta menor que 0,01 (10%) se considera que las decisiones tomadas por el experto e_k son consistentes.

El *RI* es el *Índice de Consistencia Aleatoria* (Random Consistency Index), el cual es un valor fijo que depende del número de alternativas a comparar (número cardinal de X : n), calculado a partir de múltiples iteraciones aleatorias para A^k . Existen muchos investigadores que han creado tablas al respecto, pero en el caso particular se usaron los valores mostrados en la Tabla 2 (sugerida para $n \leq 10$).

Tabla 2. Índices de Consistencia Aleatoria

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Adaptado de Saaty y Vargas (2012).

Sean pues t decisores en el proceso evaluativo denotados como $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_t\}$; el vector de ponderaciones de los n criterios $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$; el vector de ponderaciones o importancia que tiene cada decisor $R = \{r_1, r_2, r_3, \dots, r_t\}$; y el vector de valoración que da cada uno de ellos a los n criterios $M_i = \{m_{i1}, m_{i2}, m_{i3}, \dots, m_{in}\}$ obedeciendo una relación difusa de k categorías en un Universo U . Por tanto la evaluación de todos los decisores respecto a los n criterios puede ser expresada como una matriz M_{ij} con $i = 1, \dots, t$ y $j = 1, \dots, n$. Luego el vector evaluación resultante (por cada criterio difuso) puede ser obtenido así:

$$M' = R \times M = (r_1 \quad r_2 \quad r_3 \quad \dots \quad r_t) \times$$

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{t1} & m_{t2} & \dots & m_{tn} \end{bmatrix} =$$

$$(m'1, \quad m'2, \quad m'3, \quad \dots \quad m't)$$

Donde cada m' es calculado como el producto cartesiano del vector R y la matriz M , utilizando el producto y suma algebraicas normales (de la LC). Luego cada vector de evaluación (por cada criterio evaluado) se transforma usando la escala difusa, calculando por elemento el grado de pertenencia a cada una de las categorías de la escala. Obteniéndose entonces una matriz resultante de gradaciones de pertenencia de los n criterios a las k categorías difusas de la escala (matriz C).

La *calificación definitiva* de cada elemento, puede obtenerse por diversos métodos de la LD, sin embargo se utilizó el sugerido por Ma y Zhou (2000) consistente en calcular el máximo de los valores de pertenencia de las categorías difusas, debido a su simplicidad sin menoscabo de perder precisión, pues lo que se busca es esencialmente evaluar basándose en la incertidumbre.



Este método aplica la composición difusa del vector de ponderaciones de los criterios (W) con la matriz de gradaciones de pertenencia (C), usando la fórmula siguiente:

$$Y = W \circ C = (w_1 \ w_2 \ w_3 \ \dots \ w_n) \ x$$

$$\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1k} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nk} \end{bmatrix} =$$

$$(y_1 \ y_2 \ y_3 \ \dots \ y_k)$$

Donde cada $y_i = (w_1 \cdot c_{1i}) \oplus (w_2 \cdot c_{2i}) \oplus (w_3 \cdot c_{3i}) \oplus \dots \oplus (w_n \cdot c_{ni})$, empleando los operadores de Producto Difuso Algebraico y Suma Difusa Acotada (Ma y Zouh, 2000). De acuerdo con la clasificación difusa (Klir y Yuan, 1995) significa que la calificación definitiva para cada elemento es $y = \max(y_1, y_2, y_3, \dots, y_k)$, siendo \max el operador que devuelve el valor máximo de varios valores difusos. Obtener este valor “ y ” es lo que se denomina *defusificación*, que no es otra cosa que transformar un valor difuso en su correspondiente valor nítido.

Resultados

Como se explicó al inicio, la investigación aún está en desarrollo. Sin embargo se ha obtenido un avance importante en el proceso investigativo, si se considera el hecho de que los procesos que aún faltan por definir dependen de la elaboración de la escala difusa y de la ponderación difusa de las actitudes, ambos objetivos ya conseguidos. Por otra parte se ratifica que la fase cualitativa ya culminó y que aproximadamente se ha desarrollado la mitad de lo planificado para la fase cuantitativa.

De la interpretación de datos en la primera fase, se confirma que no existen directrices nacionales específicas sobre técnicas e instrumentos para evaluar el componente actitudinal en estudiantes universitarios. Esto influye en que aunque algunos docentes participantes consideran que el componente actitudinal si es relevante, al momen-

to de evaluarlo no se registra ninguna evidencia relacionada con el mismo.

Respecto a las estrategias que emplean para desarrollar el componente actitudinal en los estudiantes, los veintinueve (21) docentes participantes hicieron referencia principalmente a la producción de portafolios estudiantiles, las visitas técnicas a empresas del sector productivo local y nacional, la elaboración de proyectos comunitarios en equipo, el desarrollo de talleres y la realización de prácticas de laboratorio.

Estas estrategias coinciden con aquellas que señalan muchos autores (Villegas y Navarrete, 2013; Acosta y Boscán, 2012; Cobos y Vallejos, 2011; Barriga y Hernández, 2010,...) para la construcción de un conocimiento significativo, lo cual conforma la base del modelo constructivista asumido por esta Universidad. Por ejemplo, las visitas técnicas a las industrias y los proyectos que realizan los estudiantes en las comunidades, se fundamentan en las estrategias constructivistas de *Aprendizaje por Descubrimiento y Resolución de Problemas*, mientras que los talleres, prácticas de laboratorio y elaboración de portafolios utilizan la estrategia de *Aprendizaje Asistido*, lo cual indica que a pesar de no estar escrito explícitamente en alguna normativa, los profesores de la UPTJFR aplican estrategias pedagógicas consideradas por el paradigma educativo en el cual se centra su currículo.

De las entrevistas y discusiones en grupo, se determinó que las actitudes en los estudiantes con mayor frecuencia evaluadas son: Tolerancia, Asertividad, Criticidad (Pensamiento Crítico), Proactividad, Alteridad, Solidaridad, Responsabilidad, Pluralidad y Compromiso.

En cuanto a las técnicas e instrumentos de registro del avance actitudinal estudiantil utilizadas en el período analizado en la investigación, se evidencia que generalmente los docentes apenas emplean la observación no sistemática, aunque no aplican instrumentos para el registro de lo observado (referente a actitudes y valores), sino que cada quién narra su experiencia en unos consejos llamados CIVSP (Consejos de Integración y Vinculación Social Pedagógicos), conformados



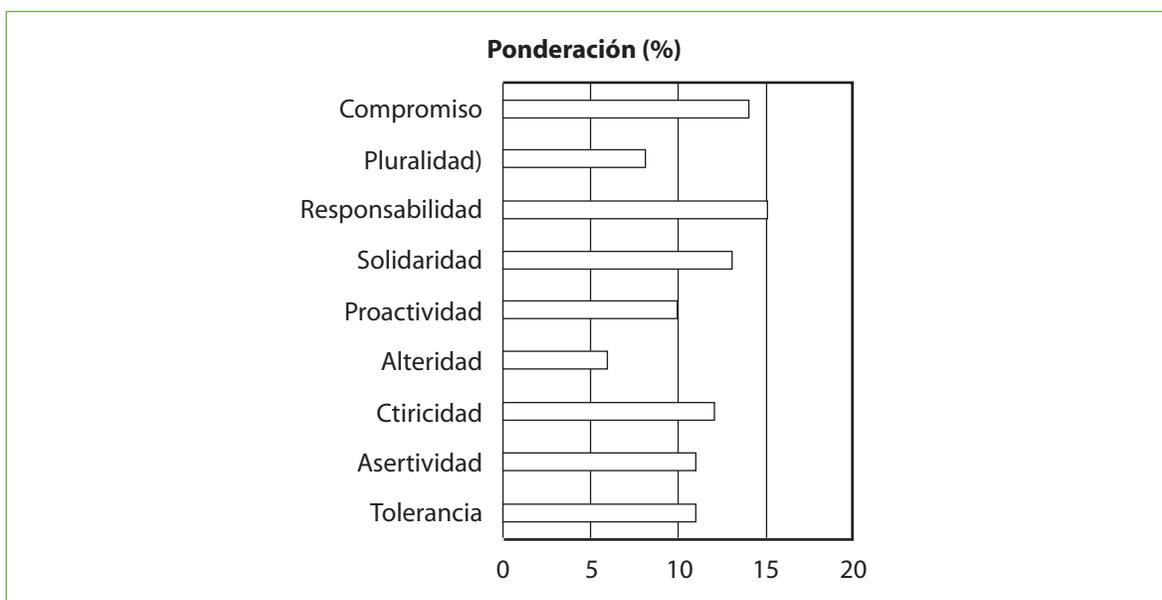
por los docentes y voceros de los estudiantes que comparten saberes en cada sección, y en algunas ocasiones por algún vocero de las comunidades donde ejecutan los proyectos.

Esta valoración actitudinal se toma en cuenta fundamentalmente en casos de estudiantes reprobados, con la finalidad de analizar si merecen una nueva oportunidad para aprobar el trayecto. En tales ocasiones, por consenso del CIVSP pueden ser aprobadas evaluaciones o actividades extraordinarias que posibiliten la continuidad de los estudios. No obstante, también se da la valoración actitudinal cuando existen faltas graves a algún miembro de la comunidad universitaria,

en cuyo caso quien decide el curso de acción es también el CIVSP.

En otro orden de ideas, en la fase cuantitativa se ha logrado como resultado, en primer lugar, la ponderación de las actitudes a evaluar (Figura 2). Los dieciséis (16) expertos consultados, al aplicar el proceso descrito con los datos de la *Matriz Resultante de Gradaciones de Pertenencia (C)*, determinaron que las actitudes que tienen mayor valoración en el componente actitudinal son la *Responsabilidad*, el *Compromiso*, la *Solidaridad* y el *Pensamiento Crítico (Criticidad)*; concediéndoles una ponderación consensuada del quince, catorce, trece y doce por ciento (15%, 14%, 13% y 12%) respectivamente.

Figura 2. Ponderación de Actitudes evaluadas en estudiantes de la UPTJFR



Fuente: A partir de Teknomo (2006), Burgos, (2006) y Ma y Zouh, (2000).

Esta ponderación demuestra el compromiso que existe en esta Universidad con las tendencias mundiales a fomentar una formación en valores en el ámbito universitario, además de las capacidades o competencias técnicas, que propicien un desarrollo sustentable, con pluralidad de criterios y donde exista la corresponsabilidad social de la ciudadanía. Por otra parte, la escasa diferencia resultante entre las distintas ponderaciones, expresa la dificultad de los docentes para

discriminar sobre la importancia entre criterios particulares de valoración actitudinal.

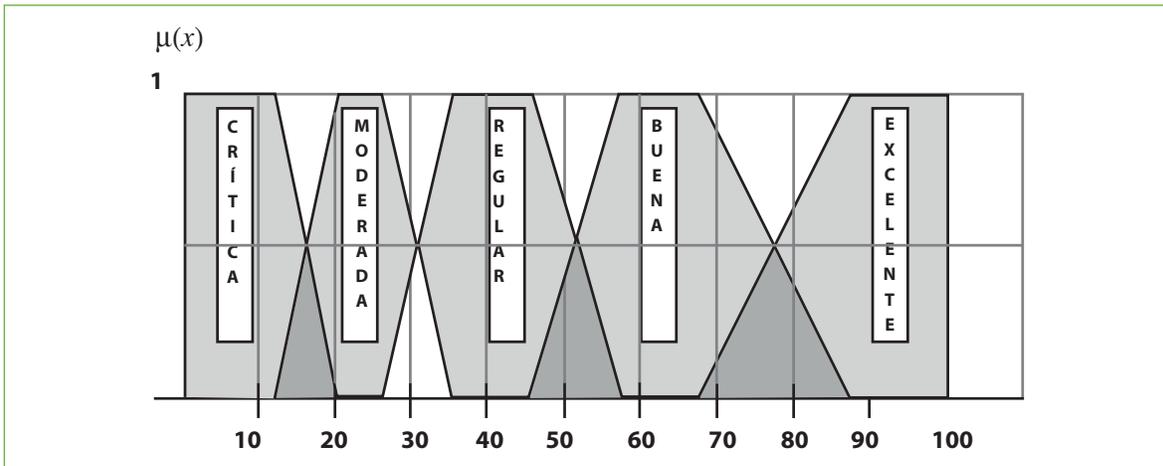
Como segundo logro relacionado con la aplicación de la LD en la valoración actitudinal estudiantil, se muestra la Escala Difusa formada por los docentes de la UPTJFR (Figura 3). Para generarla fueron aplicados los procedimientos de *expertizaje* y *contraexpertizaje* (mencionados en la metodología). Se puede evidenciar el carácter difuso de la escala, en las zonas triangulares en



que se sobreponen las categorías continuas (más oscuras), indicando la existencia de *borrosidad* en las fronteras o límites. El eje horizontal contiene el rango de calificaciones con base a cien puntos, con el cual se valora cada actitud estudiantil. Nótese que la categoría *Regular*, que en el contexto de estudio da carácter de aprobación, en la escala

actitudinal generada se encuentra nítidamente definida entre 35 y 46 puntos, lo que indica que el componente actitudinal se logra con una exigencia menor que los demás componentes en la UPTJFR, en los cuales para aprobarlos se requieren setenta puntos (según el reglamento interno).

Figura 3. Escala Difusa Universitaria de Valoración Actitudinal Estudiantil de la UPTJFR



Fuente: Basada en Kaufmann y Gil (1993).

De los datos mostrados en la *Escala Difusa*, se pudo determinar la expresión matemática de la *Función de Pertenencia* para cada una de las categorías implicadas, empleando conceptos básicos de Álgebra Lineal, específicamente el de ecuación de una recta a partir de las coordenadas cartesianas de dos de sus puntos (conocidos de los procesos difusos que originaron la escala).

Estas Funciones de Pertenencia son las siguientes:

1. *Categoría Crítica: Conjunto Difuso denotado por \underline{E}*

$$\mu_{\underline{E}}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 \leq x < 12 \\ (20-x)/8 & \text{si } 12 \leq x < 20 \\ 0 & \text{si } x \geq 20 \end{cases}$$

2. *Categoría Moderada: Conjunto Difuso denotado por \underline{D}*

$$\mu_{\underline{D}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq 12) \text{ o } (x \geq 35) \\ (x-12)/8 & \text{si } 12 < x \leq 20 \\ 1 & \text{si } 20 < x < 26 \\ (35-x)/9 & \text{si } 26 < x < 35 \end{cases}$$

3. *Categoría Regular: Conjunto Difuso denotado por \underline{C}*

$$\mu_{\underline{C}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq 26) \text{ o } (x \geq 57) \\ (x-26)/9 & \text{si } 26 < x \leq 35 \\ 1 & \text{si } 35 < x < 46 \\ (57-x)/11 & \text{si } 46 < x < 57 \end{cases}$$



4. *Categoría Buena: Conjunto Difuso denotado por \underline{B}*

$$\mu_{\underline{B}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq 46) \text{ o } (x \geq 87) \\ (x - 46)/11 & \text{si } 46 < x \leq 57 \\ 1 & \text{si } 57 < x < 68 \\ (87 - x)/19 & \text{si } 68 < x < 87 \end{cases}$$

5. *Categoría Excelente: Conjunto Difuso denotado por \underline{A}*

$$\mu_{\underline{A}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq 68 \\ (x - 68)/19 & \text{si } 68 \leq x < 87 \\ 1 & \text{si } x \geq 87 \end{cases}$$

Para una mejor comprensión de la escala mostrada (Figura 3), tómesese como ejemplo las categorías Crítica y Moderada. La interpretación de esta parte de la escala es la siguiente: las bases superiores de los trapecios representan las máximas pertenencias a dichas categorías; es decir que los estudiantes que en alguna actitud sean evaluados con calificaciones entre cero (0) y doce (12) puntos, significa que presentan un comportamiento definitivamente crítico, mientras que los que obtienen entre veinte (20) y veintiséis (26) puntos, son catalogados bajo un comportamiento moderado. Sin embargo, de alcanzar calificaciones superiores a doce (12) puntos o menores de veinte (20) puntos; caen en una zona difusa o de transición entre las dos categorías mencionadas y la pertenencia definitiva se tendría que decidir por un proceso de inferencia difusa, que aún falta por definir en el desarrollo de esta investigación.

Conclusiones

Los avances presentados demuestran algunas aplicaciones que tiene la LD en los procesos de evaluación del sector universitario. La valoración de actitudes en estudiantes universitarios de la UPTJFR, empleando técnicas y procedimientos propios de la LD, constató la naturaleza borrosa de los valores o actitudes en las personas, y permitió el diseño de instrumentos difusos para su

evaluación, como son el vector de ponderación y la escala de evaluación actitudinal, lo que representa un avance importante respecto a la situación problemática planteada inicialmente.

Estos instrumentos son indispensables para el desarrollo del Sistema Difuso de Evaluación que se pretende como propósito final de la investigación, ya que para el diseño de las Reglas Difusas de Inferencia se requiere la aplicación de los mismos. Además, para la valoración actitudinal representa la disponibilidad de unos criterios consensuados entre los profesores en este contexto, lo cual hasta el momento no había sido posible construir.

Aplicar la LD en la elaboración de los instrumentos eliminó el debate directo entre profesores, pues el acuerdo se logra a través de los procesos difusos de expertizaje y contraexpertizaje, en los que la intervención de expertos sólo se evidencia cuando expresan su opinión a través de cuestionarios individuales, lo que en definitiva redundó en la agilización del proceso de toma de decisión.

Por otra parte el uso de métodos difusos en el ámbito de la evaluación en los claustros universitarios, debe iniciarse con la definición de los constructos a evaluar para poder adaptar de manera general la metodología empleada, que al utilizar instrumentos y técnicas particulares le confieren un carácter flexible. Estos métodos constituyen una valiosa alternativa en la complementariedad de paradigmas investigativos, ya que por un lado ofrecen procedimientos cuantitativos que parten de la LD y que desde el punto de vista positivista agregan objetividad al análisis de datos; por otro lado, desde la perspectiva cualitativa, la ventaja de los procedimientos es que se fundamentan en opiniones o etiquetas lingüísticas que incluyen la subjetividad de los expertos en los análisis.

Recomendación

Se sugiere la culminación de la investigación, pasando por el diseño de Reglas Difusas de Inferencia y el diseño de instrumentos de acopio de las evaluaciones, hasta la programación de un Sistema Difuso que agilice los cálculos involucrados en el proceso de evaluación objeto de estudio.



Referencias bibliográficas

- Acosta, S. y Boscán, A. (2012). Estrategias cognitivas para la promoción del aprendizaje significativo de la Biología, en la Escuela de Educación. *Telos*, 14(2), 175-193.
- Arroyo, B. (2013). *Caracterización de la evaluación del componente actitudinal del desempeño estudiantil desde la perspectiva de los docentes*. Trabajo de Ascenso con mención publicación, Programa Nacional de Formación en Mecánica, Universidad Politécnica Territorial “José Félix Ribas”, Barinas, Venezuela.
- Barriga, F. y Hernández, G. (2010). *Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo, una interpretación constructivista*. 3ª ed. México DF, México: McGraw Hill.
- Briceño, A.; Arandes, J. y Zerpa, S. (2011). Medición de la calidad de vida en Mérida a través de la lógica difusa. *Economía*, 36(32), 67-94.
- Cobos, D. y Vallejos, A. (2011). Implantación y desarrollo de un proyecto de utilización del portafolio electrónico por parte de alumnado universitario. *SABER*, 23(1), 77-83.
- Creswell, J. (2013). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 4ª ed. Thousand Oaks, USA: SAGE Publications, Inc.
- Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. (5ª ed.). México D.F., México: McGraw Hill.
- Huapaya, C.; Lizarralde, F. y Arona, G. (2012). Modelo basado en Lógica Difusa para el Diagnóstico Cognitivo del Estudiante. *Formación universitaria*, 5 (1), 13-20.
- Kaufmann, A. y Gil, J. (1993). *Técnicas especiales para la gestión de expertos*. Santiago de Compostela, España: Milladoiro.
- Klir, G. y Yuan, B. (1995). *Fuzzy Set and Fuzzy Logic. Theory and Applications*. New Jersey, USA: Prentice-Hall.
- Ma, J. y Zhou, D. (2000). Fuzzy Set Approach to the Assessment of Student-Centered Learning. *IEEE Transactions on Education*. 43(2). Chile: CIT.
- Manjarrés, A.; Castell, R. y Luna, C. (2013). Modelo de Evaluación del Desempeño Basado en Competencias. *INGENIARE*, 15(15), 11-29.
- Nieto, S. y Rodríguez, M. (2009). *Investigación y evaluación educativa en la sociedad del conocimiento*. Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca.
- Nykänen, O. (2006). Inducing Fuzzy Models for Student Classification Educational. *Technology & Society*, 9(2), 223-234.
- Payán, L. y Luhrs, M. (2013). Evaluación de programas públicos en el marco de la realidad social. Metodología basada en la lógica difusa como instrumento para el análisis de fenómenos sociales. *Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social*, 5, 08-23.
- Pérez, I. y León, B. (2007). *Lógica difusa para principiantes. Teoría y práctica*. Caracas, Venezuela: UCAB.
- Ramos, D. y Henríquez, P. (2014). *Los encuentros de Redes Universitarias y Consejos de Rectores de América Latina y El Caribe organizados por UNESCO-IESALC*. Bogotá, Colombia: UNESCO-IESALC.
- Ross, T. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. (3ª ed.). Londres, Inglaterra: Wiley.
- Saaty, T. y Vargas, L. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. (2ªed.). Thousand Oaks, USA: Springer.
- Shinghal, R. (2013). *Introduction to Fuzzy Logic*. New Delhi, India: Prentice-Hall.
- Strauss, A. y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Teknomo, K. (2006). *Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial*. Disponible en: <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/ahp/>
- Trinidad, A., Carrero, V. y Soriano, R. (2006). Teoría fundamentada ‘Grounded Theory’, *Cuaderno Metodológico*, 37. Madrid, España: CIS.
- UNESCO-IESALC (2006). *Informe sobre la Educación Superior en América Latina y el Caribe 2000-2005. La Metamorfosis de la Educación Superior*. Caracas: Metrópolis, C. A



- _____ (2014). *La educación superior pública y privada en américa latina y el caribe. Contexto de internacionalización y proyecciones de políticas públicas*. Disponible en línea: http://www.iesalc.unesco.org/ve/index.php?option=com_fabrik&view=details&formid=2&rowid=173&lang=es
- Villegas, A. y Navarrete, A. (2013). Estrategias educativas para la inserción social del egresado de Ingeniería Mecánica. *Ventana Informática*, 28, 133-149.

