

Modelo difuso para optimizar la asignación de nuevos cargos docentes en la Escuela de Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes en Venezuela

A fuzzy model to optimize new teaching staff distribution at System Engineering Department in Universidad de Los Andes, Venezuela

Salazar, Mariangely^{1*}; García, Yohn² y Márquez, Renny³

^{1,3}Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Los Andes
Mérida, 5101, Venezuela

²Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Los Andes
Mérida, 5101, Venezuela

*mariangelysg@gmail.com

Resumen

En este trabajo se expone la elaboración de un modelo difuso de asignación de nuevos cargos docentes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela, como herramienta para mejorar su calidad educativa, considerando la docencia, investigación, extensión, mejoramiento, administración y demanda estudiantil. El modelo está compuesto por dos fases: el preprocesamiento de datos y la ejecución de un Sistema de Inferencia Difuso, el cual arroja una lista de los departamentos evaluados y los cargos a asignar. Se utilizan conjuntamente las plataformas del lenguaje de programación estadística R y del software de procesamiento matemático, Matlab[®]. Las pruebas aplicadas sobre datos de la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Facultad, mostraron un funcionamiento adecuado del modelo y su flexibilidad para extenderse a otras escuelas.

Palabras clave: Lógica difusa, asignación de cargos, evaluación docente, rendimiento docente.

Abstract

This paper presents the development of an allocation fuzzy model for new teaching positions at the Faculty of Engineering of Universidad de Los Andes, Venezuela, as a tool to improve their educational quality, considering teaching, research, extension, teacher training, administration and student demand. The model consists of two phases: data pre-processing, and a Fuzzy Inference System implementation, which return a list of the assessed departments and the allocated resources. The R statistical programming language and a mathematical processing software, Matlab[®], are used together. The tests applied on data from the System Engineering Department, showed the proper functioning of the model and its flexibility to be extended to other departments.

Key words: Fuzzy logic, staff allocation, educational evaluation, educational performance.

1 Introducción

La distribución de recursos en instituciones educativas juega un papel importante en su funcionamiento. La calidad de la formación de los estudiantes dependerá de ciertos factores, entre los cuales resalta la adecuada atención y asesoría que reciban en cada curso. El análisis y evaluación del desempeño docente se ha enfocado desde distintas perspectivas.

Existen normativas que han sido aplicadas para la asignación de los docentes, por ejemplo, en la Universidad de Almería, España (UAL, 2008), y en la Universidad de Extremadura (UEX, 2012). También, estudios enfocados en disminuir diferencias entre las cargas manejadas por cada profesor (UNED, 2003). López y col. (2007) analizan el problema de carga académica en una institución educativa, y usan Algoritmos

Genéticos para resolver el problema de asignación. Dibbon (2001) analizan la oferta y demanda de profesores en Newfoundland y Labrador, Canadá; se estudian los factores que influyen en ellas, y se dan recomendaciones para hacer frente a las dificultades generadas por la escasez de docentes. El problema de la escasez de docentes es de tal importancia, que se han generado alternativas para cubrir la demanda, como plantean Sandía y col. (2008), haciendo énfasis también en la calidad de la enseñanza. Por otro lado, el uso de la lógica difusa ha permitido evaluar incluso indicadores de calidad de vida, dándole una dimensión integradora a las mediciones, tal como exponen en su estudio Hurtado y col. (2011). Además, se ha combinado también con métodos convencionales del área de control de procesos, logrando mayor robustez en los sistemas (García y Lobo, 2009).

En la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Los Andes (ULA), se desarrolló un baremo como soporte en la toma de decisiones para la solicitud de nuevos cargos docentes (Rodríguez, 2010). Una adaptación del baremo fue implementado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la misma institución (Viloria, 2013). Uno de los objetivos de la Facultad de Ingeniería de la ULA, según Sandía y col. (2012, p. 8) es “Impartir y vigilar las actividades que conduzcan a una docencia integral [...], mediante una enseñanza idónea, asegurando una preparación de calidad suficiente para el éxito del egresado”. La cantidad ideal de estudiantes por profesor no es establecida de forma rígida, sino que es función de ciertos factores, que son de suma importancia para mejorar la distribución de la planta profesoral y contribuir al cumplimiento de los objetivos de la institución. Las decisiones sobre la asignación de nuevos cargos docentes en la Facultad de Ingeniería de la ULA se basan en una serie de discusiones argumentadas, con fundamento en criterios concernientes a cada escuela, por lo que es necesario disminuir la subjetividad implícita en el proceso de asignación. Los resultados mostrados en este artículo están basados principalmente en lo obtenido por Salazar (2015) en su trabajo sobre la asignación de cargos docentes en la Facultad de Ingeniería de la ULA.

2 Lógica Difusa

Los problemas de asignación pueden ser vistos como problemas de optimización. Cuando la complejidad de estos problemas aumenta, los métodos clásicos de la Investigación de Operaciones pueden ser reemplazados por técnicas heurísticas, metaheurísticas e inteligencia artificial (Taha, 2012). El desarrollo del modelo se basa en la Lógica Difusa, por ser una metodología usada ampliamente en el tratamiento de problemas complejos basados en razonamientos cualitativos, donde abunda la interpretación subjetiva propia del pensamiento humano en cuanto a la clasificación de objetos y conceptos (Cerrada y col., 2001), problemas interpretados con etiquetas lingüísticas, como por ejemplo, calificar algo de “bueno”, “regular”, “malo”; la altura como “alto”, “mediano”, “bajo”; entre otros. A través del proceso de fusificación se adquiere

la habilidad para modelar problemas reales de este tipo (Klir y col., 1995). La lógica difusa fue introducida como teoría por Lofti A. Zadeh, en 1965. Se fundamenta en conjuntos difusos en lugar de conjuntos clásicos con lógica bivaluada (Klir y col., 1995).

2.1 Conjuntos Clásicos y Conjuntos Difusos

Cualquier conjunto puede ser definido a través de una función característica, la cual especifica los elementos del universo X que son miembros o no, del conjunto (Klir y col., 1995). La función de un conjunto clásico es:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \forall x \in A \\ 0 & \forall x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

De acuerdo a la ecuación (1), se dice que x es miembro de A cuando $\mu_A(x) = 1$, y que no es miembro de A cuando $\mu_A(x) = 0$.

2.2 Conjuntos difusos

En el caso de un conjunto difuso, su función característica indica en qué grado los elementos pertenecen a él, usando el rango real [0-1]. Esta función se denomina *función de pertenencia* o de *membresía* (Cerrada y col., 2001), y arroja un valor “1” si el elemento pertenece totalmente, “0” si no pertenece, y un valor entre 0 y 1 si pertenece parcialmente al conjunto, siendo ese valor mayor conforme el grado de pertenencia aumenta. Esto amplía las posibilidades de clasificación e incorpora la flexibilidad necesaria para manejar conceptos subjetivos. La figura 1 ilustra la diferencia entre los conceptos clásico y difuso.

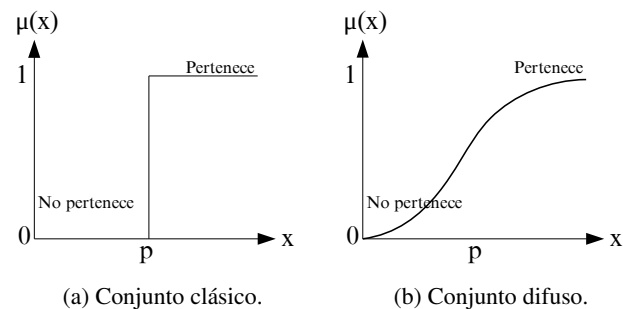


Fig. 1: Funciones características de conjuntos.

Por ejemplo, una persona puede pertenecer al conjunto de “personas altas” o al conjunto de “personas bajas”. Según la lógica clásica, suponiendo que el límite para personas altas empieza en $p = 1,80\text{m}$, entonces una persona de $1,80\text{m}$ de altura es clasificada como alta; pero si mide $1,78\text{m}$, la clasificaríamos como baja, como se muestra en la figura 2a. Si usamos lógica difusa, la persona que mide $1,78\text{m}$, es clasificada gradualmente entre un conjunto y otro, siendo no

excluyente, lo que es un indicador más consistente con la realidad. Una persona de 1,60m sigue siendo calificada como baja y una de 1,80m como alta. Esto permite una transición menos brusca de un grupo a otro.

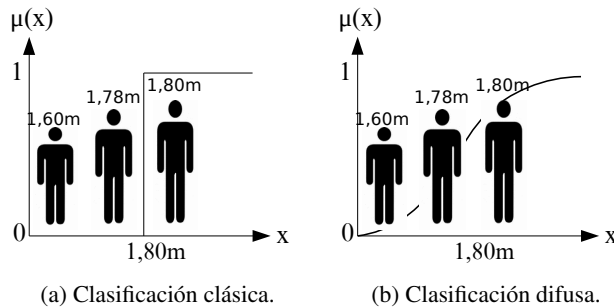


Fig. 2: Diferencias de clasificación según el tipo de conjunto.

Las funciones de pertenencia más comunes utilizadas para definir los conjuntos difusos son las triangulares y las trapezoidales (ver figuras 3a y 3b). Además, se pueden definir funciones personalizadas para problemas particulares.

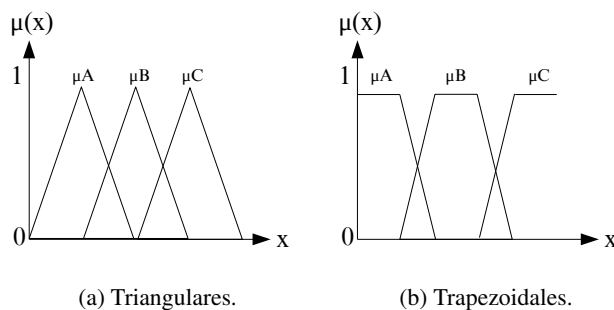


Fig. 3: Funciones de pertenencia típicas.

2.3 Sistemas de inferencia difusa

Los sistemas de inferencia difusa son construidos con base en una colección de conjuntos y reglas difusas, que definen las relaciones entre las variables de entrada y salida. En la figura 4 se expone un diagrama típico de estos sistemas. Los procesos de fusificación y defusificación tienen como función transformar las entradas y salidas del sistema, de tal forma que valores de entrada no difusos puedan ser procesados bajo la lógica difusa, y los valores de salida puedan ser interpretados en valores cuantificables, que sean de interés al problema real. Los principales métodos de inferencia usados en sistemas difusos son: tipo Mamdani y tipo Takagi-Sugeno-Kang (Cerrada y col., 2001). En este artículo se muestran los resultados haciendo uso de sistemas de inferencia tipo Mamdani. Se hicieron pruebas de comparación con Takagi-Sugeno obteniendo resultados equivalentes.

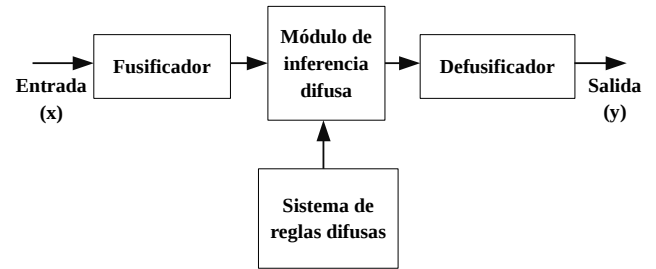


Fig. 4: Sistema de inferencia difusa.

3 Descripción del sistema de estudio

La planta profesoral de la Facultad de Ingeniería de la ULA cuenta con una composición diversa en la que los profesores se categorizan según su antigüedad, nivel de formación, entre otros aspectos. Al momento del desarrollo de este proyecto, la Facultad de Ingeniería estaba compuesta por aproximadamente 270 profesores dedicados a la docencia, investigación, extensión, administración y mejoramiento. Los profesores cumplen con sus actividades en el tiempo establecido según su dedicación (CU-ULA, 2004, art. 2)¹. Las dedicaciones establecidas en la facultad se denominan dedicación exclusiva (40 horas semanales), tiempo completo (35 horas), medio tiempo (18 horas) y tiempo convencional (hasta 12 horas) (CU-ULA, 1990, art. 109)².

3.1 Actividades en la Facultad de Ingeniería de la ULA

Según el CU-ULA (2004), en su artículo 3, las actividades de docencia se subdividen en actividades de enseñanza y otras actividades de docencia: publicaciones para fines didácticos, asesorías o tutorías de tesis, entre otros. Artículos o libros, producto de trabajos de investigación, participación en eventos científicos, trabajos de ascenso, patentes y similares, son consideradas actividades de investigación (CU-ULA, 2004, art. 4). Las actividades administrativas son las desarrolladas por Autoridades Universitarias, Direcciones, Jefaturas, Coordinaciones, Comisiones, Representación Gremial, entre otros (CU-ULA, 2004, art. 6). Según el CU-ULA (2004, art. 58, n° 2) es obligación del profesor “mejorar constantemente su capacidad científica y pedagógica”, por lo que los instructores y asistentes deben “someterse a programas de formación y mejoramiento”. Las actividades de mejoramiento ejecutadas en la Facultad de Ingeniería incluyen becas, años sabáticos, planes de formación, cursos, charlas, conferencias, entre otros.

3.2 Evaluación de las actividades docentes

El CU-ULA (2004), indica que los profesores deben presentar anualmente Informes de Actividades Cumplidas

¹Reglamento para la evaluación de actividades de los profesores de la Facultad de Ingeniería de la ULA

²Estatuto del personal docente y de investigación.

y Plan de Actividades propuestas, respecto a las áreas de docencia, investigación, extensión, mejoramiento y administración. Esta información es tomada para la construcción de variables principales que permitan medir la prioridad de cada departamento en las asignaciones de nuevos cargos. Para ello se recolectaron y estudiaron datos sobre las actividades, contenidos en resúmenes e informes de 2010, 2011, 2012 y 2013, de los tres departamentos de la Escuela de Sistemas: Computación, Sistemas de Control e Investigación de Operaciones.

4 Conceptualización del modelo

Además de los análisis realizados sobre los informes de actividades, también se estudió el baremo usado en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la ULA, que está basado en el baremo de la Facultad de Arquitectura. Resaltan los cálculos sobre la deficiencia de profesores para cada materia, los cuáles son extendidos a los departamentos y a la escuela. Las variables de interés para el modelo son construidas a partir de estas observaciones, considerando ambas fuentes de información. Se probaron distintas agrupaciones de variables, con el fin de discernir la utilidad, influencia y relevancia de cada una dentro de la toma de decisiones, y su adaptación en modelos con lógica difusa.

4.1 Análisis de conceptos para la estructura del modelo

Las áreas de investigación, extensión, mejoramiento, administración pueden verse como de apoyo y servicio a la docencia. Cabe preguntarse cómo influye cada una en la disponibilidad de los profesores para cubrir las actividades de docencia urgentes y hasta qué límite se les debe dar importancia. La urgencia de atención de la docencia depende de la cantidad de alumnos que demandan cupos en las materias, combinada con la restricción de cantidad deseable de alumnos, que generalmente por el déficit de profesores disponibles termina siendo relegada, lo que puede afectar el rendimiento de los estudiantes. La figura 5 muestra algunos factores de interés sobre la necesidad de un departamento.

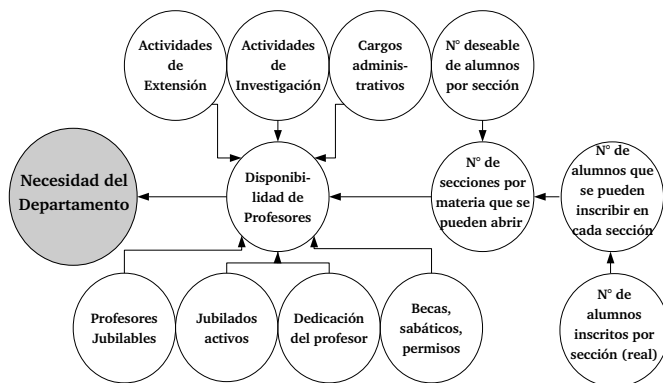


Fig. 5: Factores de interés sobre la necesidad de un departamento.

4.2 Definición del sistema de inferencia

Con base en las investigaciones y pruebas realizadas, comparando distintas agrupaciones de variables, modos de asignación de cargos, datos necesarios o influyentes en el rendimiento de los departamentos, se determinaron aspectos relevantes para elaborar la estructura final que recoja en mayor medida la necesidad de cargos de los departamentos. En esta sección se describen los puntos considerados y se desarrolla la estructura final para las variables y el sistema difuso.

4.2.1 Datos de entrada

Estos datos deben ser facilitados por el departamento o la escuela en conjunto, en archivos con valores separados por comas (“.csv”, por sus siglas en inglés), que serán utilizados para construir indicadores de interés (ver sección 5.1).

- Datos de profesores: nombres y apellidos, cédula, fecha de ingreso, escalafón, condición, dedicación, horas asignadas según su dedicación, estado, carga administrativa, escuela, departamento, área de conocimiento.
- Datos de materias: código, nombre, escuela, departamento, área de conocimiento, horas de clases teóricas (HCT), horas de laboratorio o taller (HL), horas de práctica (HP), horas de campo (Hcamp), horas de seminario (Hsem), horas de régimen especial (HRE), límite de alumnos por sección.
- Datos sobre actividades cumplidas: departamento, AÑO, porcentaje de actividades de docencia (PAD), porcentaje de otras actividades de docencia (POAD), porcentaje de actividades de investigación (PAI), porcentaje de actividades de extensión (PAEX), porcentaje de actividades de mejoramiento (PAM), porcentaje de actividades administrativas (PAA).
- De los inscritos: Código de materia, nombre de materia, número de inscritos, sección, profesor.
- Factores requeridos, mostrados en la tabla 1.

Tabla 1: Factores de dedicacion y ponderación de horas.

Dedicación	Ponderación de horas
Dedicación Exclusiva (de) = 1	Teóricas: FPHCT = 3
Tiempo Completo (tc) = 1	Laboratorio: FPHL = 2
Medio Tiempo (mt) = 1/2	Prácticas: FPHP = 2
Tiempo Convencional (tconv) = 1/3	Trabajo de campo: FPHcamp = 2
Jubilados activos (jubact) = 2/5	Seminario: FPHsem = 2
	Régimen especial: FPHRE = 1

Los factores de ponderación de horas teóricas dependerán de la modalidad de evaluación del profesor en la materia y del número de estudiantes que se hayan inscrito.

- Datos constantes requeridos: Secciones por profesor (Ssp), porcentaje de actividades de investigación (ReqI), porcentaje de actividades de extensión (ReqEx),

porcentaje de otras actividades de docencia (ReqOA), horas ponderadas de materia optativa, cargos u horas disponibles para la asignación.

4.3 Estructura del sistema difuso

Una vez definidos los datos necesarios, se calculan los indicadores a utilizar como entrada al sistema de inferencia.

4.3.1 Indicadores y conjuntos difusos

A continuación, se muestra la construcción de los indicadores finales, de interés para el sistema difuso:

I1: Rendimiento en actividades de Investigación. Se toma el porcentaje PAI de los resúmenes de informes de actividades cumplidas del departamento. El indicador se construye como se muestra en la ecuación (2):

$$I1 = \frac{PAI}{ReqI} \quad (2)$$

Donde ReqI es un valor fijado en consenso como el valor deseado del porcentaje de actividades de investigación. Las funciones de pertenencia para este indicador, mostradas en la figura 6, se dividen como:

- 1) Muy Bajo: No se considera prioritario para la asignación de cargos.
- 2) Bajo: La prioridad es escasa para la asignación de cargos.
- 3) Moderado: Se considera medianamente la asignación de cargos.
- 4) Alto: El rendimiento cubre los valores deseados.
- 5) Muy alto: El rendimiento excede los valores propuestos, lo que se considera como desequilibrio del departamento respecto a los requerimientos. No se considera prioritario asignar cargos.

I2: Rendimiento en actividades de Extensión. Se construye análogamente al indicador I1 con el uso de las variables PAEX y ReqEx como requerimiento para el área, como se muestra en la ecuación (3).

$$I2 = \frac{PAEX}{ReqEx} \quad (3)$$

I3: Rendimiento en Otras actividades de docencia. De manera similar a I1 e I2, utilizando POAD y ReqOA como requerimiento de entrada se construye I3, como refleja la ecuación (4).

$$I3 = \frac{POAD}{ReqOA} \quad (4)$$

I4: Proporción de profesores jubilables. Se construye con base en el número de profesores jubilables que hay en el departamento d ($Pjub_d$), y el total de profesores del departamento, como se muestra en la ecuación (5). Se considera que un profesor es jubilable si cuenta con al

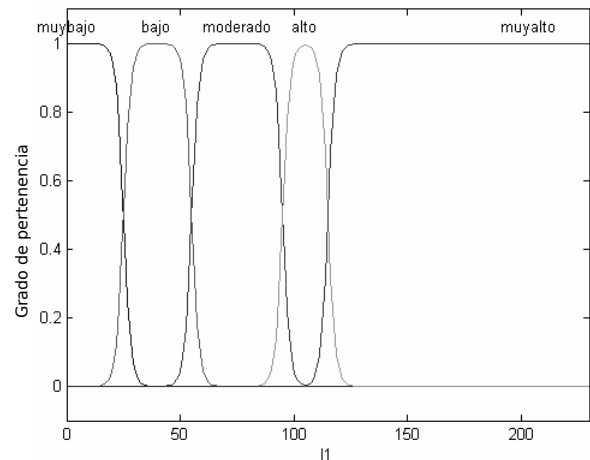


Fig. 6: Funciones de pertenencia para los indicadores I1, I2, e I3.

menos 25 años de servicio, información que es proporcionada en los datos de entrada de los departamentos.

$$I4 = \frac{Pjub_d}{Ptotal_d} \quad (5)$$

Las funciones de pertenencia para este conjunto, como se muestra en la figura 7, son:

- 1) Bajo: Se considera una proporción tolerable de profesores jubilables del departamento que no afecta en gran medida las necesidades.
- 2) Moderado: La proporción requiere de atención por encontrarse en un nivel que puede afectar la disponibilidad de profesores en los períodos próximos.
- 3) Alto: Se considera de alta prioridad la asignación de profesores para cubrir el aumento de la demanda próxima.

R: Déficit de profesores del departamento. La cantidad de profesores requeridos se determina como en la ecuación (6).

$$R = Preq_d - Pmej_d - Padm_d + Psob_d \quad (6)$$

Donde:

- $Preq_d$: Número de profesores requeridos por departamento. Cantidad de profesores que hacen falta para cubrir totalmente la carga de secciones de materias pertenecientes al departamento d , basado en las áreas de conocimiento.
- $Pmej_d$: Número de profesores en mejoramiento por departamento. Se contabilizan los profesores en estado de mejoramiento para cada departamento.
- $Padm_d$: Carga administrativa del departamento d expresada en número de profesores. Se toman en cuenta los cargos con más de 10 horas administrativas.

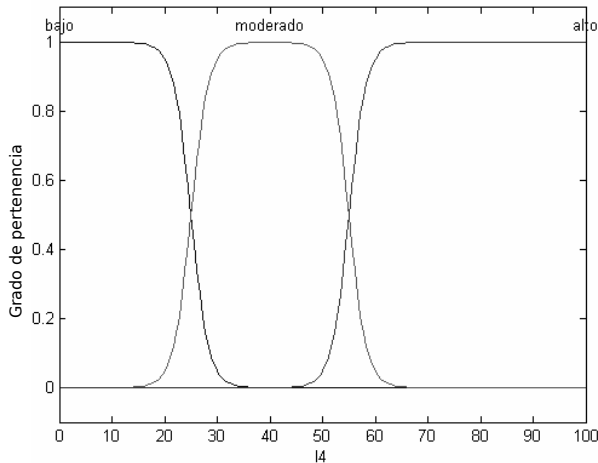


Fig. 7: Funciones de pertenencia para I4.

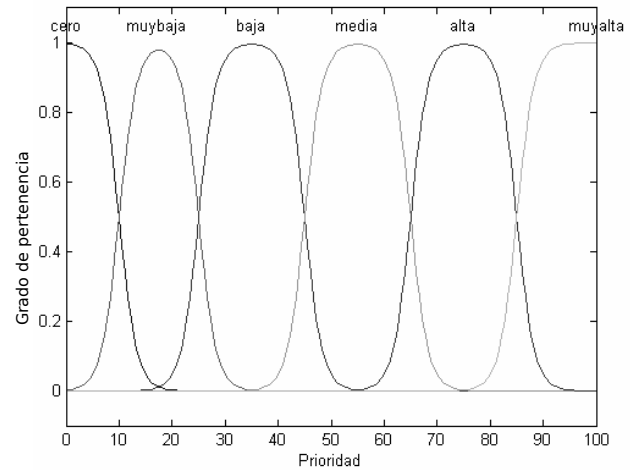


Fig. 8: Funciones de pertenencia para la prioridad.

- P_{sob_d} : Número de profesores disponibles según horas sobrantes de la carga académica, por departamento.

Siendo siempre $Preq_d \leq 0$, se adicionan al déficit los profesores que están en mejoramiento, y los profesores no disponibles debido a las cargas administrativas. Además, se suman los profesores que sí están disponibles según las horas sobrantes en la carga académica (P_{sob_d}), de esta manera se obtiene el valor total para el déficit de profesores R que presenta el departamento d . R será un valor menor o igual que cero (≤ 0). Las variables $Preq_d$, $Pmej_d$, $Padm_d$, y P_{sob_d} , son obtenidas de forma preliminar, procesando los datos iniciales contenidos en los archivos de entrada en formato “.csv”. Cálculos detallados de estas variables pueden encontrarse en el trabajo de Salazar (2015).

Los primeros 4 indicadores serán procesados bajo el sistema difuso a través de un conjunto de reglas, para obtener la prioridad de cada departamento en la asignación de cargos. Este conjunto de salida cuenta con 6 funciones de pertenencia (ver figura 8):

- 1) Mínimo: No tiene prioridad alguna.
- 2) Muy baja: Prioridad es de muy poca relevancia para optar a cargos nuevos.
- 3) Baja: Poca urgencia para la asignación de cargos.
- 4) Media: Prioridad media, con oportunidad a asignaciones en última instancia.
- 5) Alta: Prioridad relevante para la asignación de nuevos cargos en primera instancia.
- 6) Muy Alta: Prioridad suficiente para la asignación de cargos urgente en primera instancia.

4.3.2 Reglas del sistema difuso

La cantidad de reglas totales que usa el sistema, según el número de conjuntos y funciones de pertenencia, es 375,

obtenida multiplicando el número de posibles valores de cada indicador: $5 * 5 * 5 * 4 = 375$. Para definir la salida de cada regla, se procedió a evaluarlas cuidadosamente considerando analogías y equivalencias. En la fase final, los cargos se asignan según el valor defusificado de la salida, que será un valor entre 0 y 100, el cual es tomado como el porcentaje de cargos que deben ser asignados al departamento. Se genera una lista ordenada según la prioridad, y junto con el número de cargos requeridos (R) (que refleja el déficit de profesores), se calcula el número de cargos a asignar para cada departamento. Se realiza la asignación hasta el límite de cargos disponibles. Los cargos pueden no ser suficientes para cubrir la necesidad de todos los departamentos involucrados. Aquellos con posición menos privilegiada en la lista pueden no percibir asignación alguna. El escenario ideal sería aquel en el que los cargos disponibles son suficientes para cubrir las asignaciones sugeridas por el sistema, pero la escasez de cargos precisamente es la base para el ordenamiento por prioridades. En la tabla 2 se muestra un ejemplo de aplicación del modelo propuesto. Para cada departamento (A,B,C) se calcula la prioridad, según los lineamientos expuestos anteriormente, y según ésta, el sistema sugiere cuántos cargos deberían asignarse a cada uno ($(Prioridad * R)/100 = \text{Cargos sugeridos}$). Finalmente, se asignan los cargos de forma descendente, según la disponibilidad (en este caso, 5 cargos). Nótese que por la escasez, los cargos requeridos por el departamento con menor prioridad no pueden cubrirse totalmente.

Tabla 2: Ejemplo de asignación de cargos.

Departamento	Prioridad	R	Cargos Sugeridos	Cargos asignados
A	60	5	3	3
B	45	3	1,35	1,35
C	30	4	1,2	0,65

La cantidad asignada se basa en cargos a DE .

5 Implementación del modelo

Los algoritmos para procesar la información de los departamentos y el sistema de inferencia difusa, fueron implementados en los lenguajes R (The R Foundation for Statistical Computing, 2014) y Matlab® (The MathWorks, Inc., 2013), respectivamente.

5.1 Implementación en R

El archivo codificado (*script*) recibe información de los departamentos sobre su rendimiento de actividades, las materias que ofrece, los estudiantes inscritos y los profesores adscritos, recopilada en cuatro archivos con formato “.csv”, además de las constantes requeridas.

- ACTIVIDADES.CSV: sobre el rendimiento de actividades.
- PROFESORES.CSV: sobre los profesores adscritos.
- MATERIAS.CSV: sobre las materias ofrecidas.
- INSCRITOS.CSV: sobre la situación estudiantil.

Se procesa esta información para generar un archivo “.txt” con las variables necesarias para el sistema de inferencia difuso. Su estructura se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Archivo de salida del *script* en R.

Departamento	I1	I2	I3	I4	R
D_1	$I1_1$	$I2_1$	$I3_1$	$I4_1$	R_1
D_2	$I1_2$	$I2_2$	$I3_2$	$I4_2$	R_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
D_n	$I1_n$	$I2_n$	$I3_n$	$I4_n$	R_n

5.2 Implementación en Matlab®

Matlab® posee una herramienta específica para el desarrollo de sistemas de inferencia difusa llamada “fuzzy logic toolbox”. Un *script* de extensión “.m” procesa los resultados arrojados por el *script* en R , con un sistema de inferencia tipo Mamdani. Como salida se tiene un archivo “.xls” con la estructura mostrada en la tabla 4.

Tabla 4: Formato de salida de Matlab®.

Departamento	I1	I2	I3	I4	R	Prioridad	Sugeridos	Asignados
D_2	$I1_1$	$I2_1$	$I3_1$	$I4_1$	R_1	P_1	C_1	Ca_1
D_1	$I1_2$	$I2_2$	$I3_2$	$I4_2$	R_2	P_2	C_2	Ca_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
D_n	$I1_n$	$I2_n$	$I3_n$	$I4_n$	R_n	P_n	C_n	Ca_n

5.2.1 Estructura del sistema difuso utilizado

El sistema de inferencia difuso definido en el programa “sistemadifuso.m” tiene el siguiente rango de variables:

- I1: Actividades de investigación [0, 230].
- I2: Actividades de extensión [0, 230].
- I3: Otras actividades de docencia [0, 230].

I4: Proporción de profesores jubilables [0, 100].

Salida: Prioridad de asignación para el departamento [0, 100].

En la figura 9 se muestra el proceso llevado a cabo en Matlab®. Se pueden observar algunas de las reglas utilizadas en el Sistema de Inferencia Difuso.

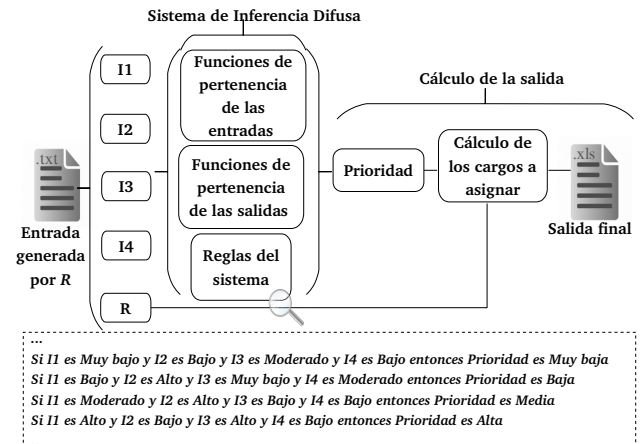


Fig. 9: Flujo del proceso en Matlab®.

En la práctica, los profesores no tienen restricciones sobre la cantidad de actividades que realizan, por lo que los porcentajes de rendimiento para las actividades de investigación, extensión y otras de docencia tienden a pasar del 100%. Sin embargo, en los informes de actividades cumplidas utilizados, no se observaron valores por encima del 230%, por lo que se eligió este valor como tope para los indicadores I1, I2, e I3. Dado que para el indicador I4 se utiliza una proporción, el valor máximo para su rango es 100.

6 Resultados

Se usaron datos pertenecientes a los departamentos de la Escuela de Sistemas de la Facultad de Ingeniería, como entrada. Además se realizaron algunas variaciones en los parámetros del modelo, como parte del análisis de sensibilidad (sección 6.2).

6.1 Resultado base

Los datos de entrada para las actividades se muestran en la tabla 5. El resto de los datos necesarios se alojan en archivos “.csv”, como se mencionó anteriormente. Algunas constantes requeridas se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Valores constantes requeridos en la entrada.

Parámetro	HC	ReqOA	ReqI	ReqEx	Hop
Valor	30	20	10	5	12

Tabla 5: Datos iniciales.

Departamento	AÑO	PDAD	PDOAD	PDAI	PDAM	PDA	PDAEX	HSC
A	2013	71,24	16,53	6,14	15,93	16,01	0	33,67
B	2013	55,68	16,92	53,85	17,5	25,34	6,37	40
C	2013	87,01	8,84	26,17	16,19	17,47	2,01	30,79

Se establece un límite de 8 cargos disponibles para la asignación, de 40 horas cada uno (DE). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7. Esta contiene los datos de entrada generados por el *script* en el lenguaje *R*, y los resultados del sistema difuso. Para los indicadores *I1*, *I2* e *I3*, se realiza un truncamiento de valores mayores a 200, debido a que se considera que a partir de este límite su interpretación es similar. Valores mayores a 200 se toman como excesivos para estos indicadores. La columna “Sugeridos”, contiene los cargos que el sistema difuso sugiere asignar a cada departamento, considerando todos los indicadores involucrados y la demanda de profesores (*R*), por medio de las reglas difusas establecidas. En la columna “Asignados” se muestra la asignación según el orden y los cargos disponibles, tal como se mencionó en el ejemplo de la tabla 2. Nótese que la sumatoria de ésta columna es igual al número de cargos totales disponibles para la asignación; es decir, ocho (8), y que además en algunos casos no pueden cubrirse completamente los cargos sugeridos a los departamentos con menos prioridad.

Tabla 7: Resultados.

Departamento	Entrada					Mamdani		
	I1	I2	I3	I4	R	Prioridad	Sugeridos	Asignados
C	200	40,2	44,2	41,04	9,39	74,94	7,04	7,04
B	200	127,4	84,6	27,27	0	70,43	0,00	0,00
A	61,4	0	82,65	30,48	7,68	17,53	1,35	0,96

Se observa que el departamento “C” presenta mayor necesidad de cargos (*R* mayor), y porcentajes de rendimiento similares en sus indicadores (exceptuando *I1*, que suele estar por encima del 100 % según las observaciones realizadas), al contrario que “A” y “B”, cuyos indicadores difieren en mayor grado entre sí. El departamento “A”, que tiene un indicador *I2* poco deseable, es penalizado través de la prioridad que se le da, a pesar de obtener porcentajes de rendimiento aceptables para el resto de actividades; su requerimiento de profesores *R* es menor que el departamento “C”. El departamento “B” no requiere de profesores (según *R*), por lo que no se le asignan cargos, a pesar de que su prioridad resultante, gracias a su rendimiento en las actividades, es mayor que la del departamento “A”. De esta manera los departamentos que realmente requieren cargos para cubrir sus demandas son considerados adecuadamente.

6.2 Análisis de sensibilidad

Se hicieron algunas variaciones en la entrada para observar el comportamiento del sistema ante cambios en sus

parámetros. Al igual que en el caso base, en los siguientes casos se usa un límite de 8 cargos disponibles de 40 horas.

6.2.1 Primer caso

Se disminuyó la dedicación del cargo de la mitad de los profesores del departamento “B” a tiempo convencional, y se introdujo una disminución del 50 % del rendimiento del departamento en Otras Actividades de Docencia, Investigación y Extensión. Las tablas 8 y 9, muestran la entrada y los resultados, respectivamente. Los valores en negrita representan los cambios con respecto al resultado base, representación que se utiliza en las demás tablas.

Tabla 8: Cambios en actividades. Primera variación.

Departamento	AÑO	PDAD	PDOAD	PDAI	PDAM	PDA	PDAEX	HSC
A	2013	71,24	16,53	6,14	15,93	16,01	0	33,67
B	2013	55,68	8,46	26,93	17,5	25,34	3,19	27,63
C	2013	87,01	8,84	26,17	16,19	17,47	2,01	30,79

Tabla 9: Resultados de la primera variación.

Departamento	Entrada					Mamdani		
	I1	I2	I3	I4	R	Prioridad	Sugeridos	Asignados
C	200	40,2	44,2	41,04	9,39	74,94	7,04	7,04
B	200	63,8	42,3	30,43	2,89	55,15	1,59	0,96
A	61,4	0	82,65	30,48	7,68	17,53	1,35	0,00

Debido a que se disminuyó la dedicación de los profesores, disminuye la capacidad para atender alumnos, por lo que los profesores requeridos (*R*) aumentan (ver figura 10, para el departamento B). Los profesores a tiempo convencional no reportan actividades de investigación, extensión ni otras de docencia, por lo que estos indicadores disminuyen a su vez, pero la variable *R* toma importancia en la asignación de más cargos, lo que evita incurrir en desequilibrio por falta de actividades.

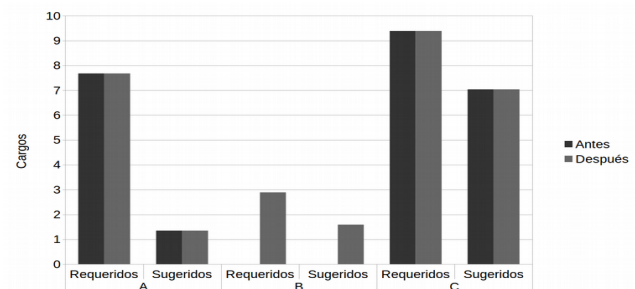


Fig. 10: Diferencias en la primera variación.

6.2.2 Segundo caso

Se disminuye la dedicación del cargo de la mitad de los profesores de “A”, a tiempo convencional, de la misma manera que en el primer caso, pero además se indica que no hay ninguno en estado de mejoramiento. La tabla 10 y la

tabla 11 muestran los resultados. Análogamente a la variación anterior, se observa aumento en R , debido a la disminución de la capacidad para atender alumnos, incluso cuando no hay profesores en mejoramiento (ver figura 11).

Tabla 10: Cambios en actividades. Segunda variación.

Departamento	AÑO	PDAD	PDOAD	PDAI	PDAM	PDA	PDAEX	HSC
A	2013	35,62	8,27	3,07	0	16,01	0	19,07
B	2013	55,68	16,92	53,85	17,5	25,3	6,37	40
C	2013	87,01	8,84	26,17	16,19	17,47	2,01	30,79

Tabla 11: Resultados de la segunda variación.

Departamento	Entrada					Mamdani		
	I1	I2	I3	I4	R	Prioridad	Sugeridos	Asignados
C	200	40,2	44,2	41,04	9,39	74,94	7,04	7,04
B	200	127,4	84,6	27,27	0	70,43	0,00	0,00
A	30,7	0	41,35	41,61	10,34	17,40	1,80	0,96

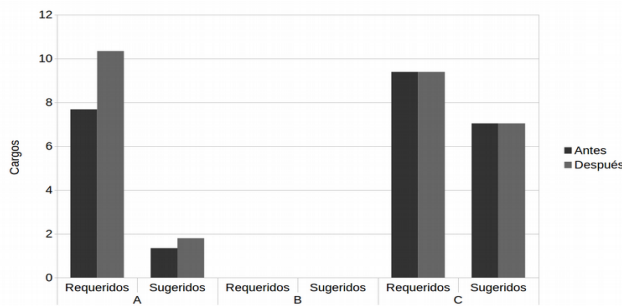


Fig. 11: Diferencias en la segunda variación.

A pesar del peso que sostiene R sobre el resto de factores, las prioridades disminuyen ligeramente, debido a la reducción del rendimiento en actividades en un 50%. Se confirma la consideración de todos los indicadores para el cálculo de la prioridad.

6.2.3 Tercer caso

En tercer lugar, se aumentó en un 50% el número de alumnos inscritos en todas las materias. Los datos de entrada corresponden a los iniciales (ver tabla 5). Como es esperado, los requerimientos reflejados en R aumentan considerablemente como se observa en la figura 12. Las actividades no tuvieron cambios, por lo que el departamento con mayor prioridad absorbe los cargos disponibles. Los 8 cargos disponibles no cubren la totalidad de los departamentos. La tabla 12 recoge los resultados.

Tabla 12: Resultados de la tercera variación.

Departamento	Entrada					Mamdani		
	I1	I2	I3	I4	R	Prioridad	Sugeridos	Asignados
C	200	40,2	44,2	41,04	19,06	74,94	14,28	8,00
B	200	127,4	84,6	27,27	0,4	70,43	0,28	0,00
A	61,4	0	82,65	30,48	15,68	17,53	2,75	0,00

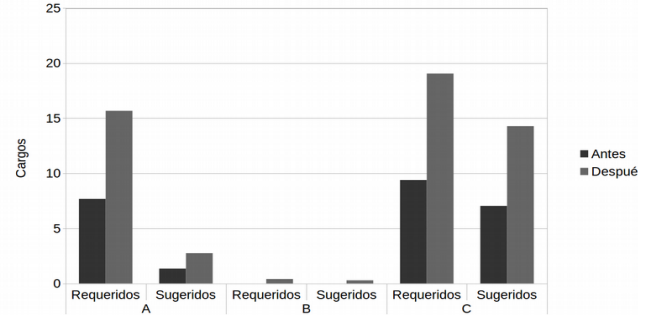


Fig. 12: Diferencias en la tercera variación.

6.2.4 Cuarto caso

Contrario al caso anterior, los requerimientos en la cuarta variación disminuyen sustancialmente (figura 13). Esta vez se redujo en un 50% la cantidad de alumnos. En este caso hipotético en el que se cubre la demanda de todos los departamentos debido a la poca cantidad de alumnos, pueden sobrar cargos por asignar (en este caso la sumatoria de los cargos asignados es 0,66). La tabla 13 recoge los resultados. Esta herramienta es usada suponiendo escasez, por lo que no es probable que esta situación tenga lugar.

Tabla 13: Resultados de la cuarta variación.

Departamento	Entrada					Mamdani		
	I1	I2	I3	I4	R	Prioridad	Sugeridos	Asignados
C	200	40,2	44,2	41,04	0,52	74,94	0,39	0,39
B	200	127,4	84,6	27,27	0	70,43	0,00	0,00
A	61,4	0	82,65	30,48	1,52	17,53	0,27	0,27

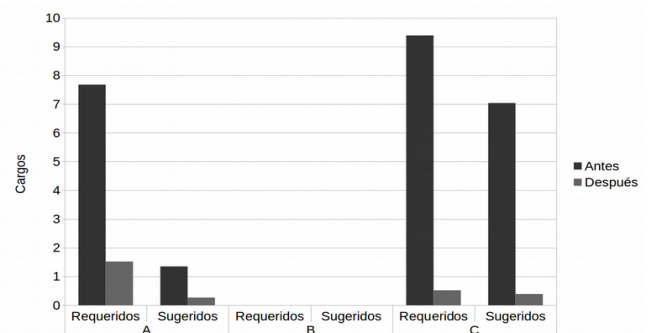


Fig. 13: Diferencias en la cuarta variación.

Según las variaciones introducidas en distintas direcciones, se obtienen resultados esperados, indicando consistencia en el tratamiento del problema. El establecimiento en consenso de las constantes utilizadas como requerimientos asegura una repartición equitativa de los cargos de acuerdo a las necesidades del momento.

7 Conclusiones y recomendaciones

Este modelo abarca las áreas de actividades de docencia, investigación, extensión, mejoramiento y administración, además de la demanda estudiantil, la disponibilidad y rendimiento de los profesores. Durante las pruebas realizadas se comprobó el funcionamiento adecuado del modelo. La Lógica difusa permite la inclusión flexible de variables y facilita la interpretación de resultados, por lo que las reglas pueden ser modificadas de acuerdo con las demandas del momento, capacidad relevante para la evaluación de los conceptos subjetivos del problema de asignación. Se puede concluir que el modelo logró cubrir los objetivos planteados, y cuenta con el potencial para apoyar la toma de decisiones en la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la ULA. El uso del modelo planteado podría disminuir el tiempo empleado en las discusiones para la asignación de cargos, ofrecería un reparto equilibrado y menos objetivo de los mismos. En su implementación inicial, obligaría a la mejora de la organización de registros de información, y su estandarización, lo cual influiría positivamente en otros ámbitos administrativos de la institución, haciendo posible la extrapolación del modelo a otras unidades académicas.

Referencias

- Cerrada, M y Rodríguez, W, 2001, Introducción a las técnicas de computación inteligente, Lógica difusa, 53-101, José Aguilar Castro y Franklin Rivas Echeverría Editores.
- Dibbon, D, 2001, Teacher supply and demand: An analysis of current developments in Newfoundland and Labrador. Memorial University of Newfoundland. Quebec City.
- García, Y, Lobo, I, 2009, Controlador PID integrado por la estructura de control de modelo interno (IMC) y lógica difusa. Revista Ciencia e Ingeniería, vol 30, N° 1, pp 29-40. Mérida, Venezuela.
- Hurtado, A, Tinto, J, Zerpa, S, 2011, Medición de la calidad de vida en Mérida a través de la lógica difusa, Revista Economía, N° 032, Mérida, Venezuela.
- Klir, G y Yuan B, 1995, Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications, Prentice Hall.
- López, B y Johnston, J, 2007, Modelo de asignación de carga académica usando algoritmos genéticos, Instituto Tecnológico de Nuevo Laredo, Nuevo Laredo, México.
- Consejo Universitario dmarquezrenny@ula.ve la Universidad de Los Andes, 2004, Reglamento para la evaluación de actividades de los profesores de la Facultad de Ingeniería de la ULA.
- Consejo Universitario de la Universidad de Los Andes, 1990, Estatuto del personal docente y de investigación de la ULA.
- The R Foundation for Statistical Computing, 2014, R language.
- Rodríguez, J, 2010, Cálculo de capacidad de matrícula y demanda de profesores, Coordinación Académica de FADULA, Mérida, Venezuela.
- Salazar, M, 2015, Modelo de asignación de nuevos cargos docentes en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, Proyecto de Grado.
- Sandia, B, Arias, M, Silva, A, 2008, Desarrollo de cursos críticos en línea: una solución para la demanda matricular. Caso: cursos básicos de ingeniería. Revista Ciencia e Ingeniería, vol 29, N° 2, pp 191-198. Mérida, Venezuela.
- Sandia, B, Calderón, J, Chacón, L y Dulhoste, J, 2012, Propuesta de modelo educativo para la Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Taha, H, 2012, Investigación de operaciones, 9na Edición, Editorial Pearson, Edición traducida al español.
- The MathWorks, Inc., 2013, Matlab, Matrix laboratory, The language of technical computing.
- Vicerrectorado de Profesorado y Ordenación Académica de la Universidad de Almería, 2008, Criterios para la asignación del profesorado a las asignaturas adscritas a las áreas de la Universidad de Almería, España.
- Vicerrectorado de Profesorado de la Universidad de Extremadura, 2012, Normativa para la asignación de docencia de la Universidad de Extremadura, España.
- Vicerrectorado de Calidad e Innovación Docente de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2003, Documento sobre estimación de la carga docente en el espacio europeo de educación superior, España.
- Viloria, F, 2013, Cálculo de demanda de profesores, Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la ULA, Mérida, Venezuela.

Recibido: 20 de febrero de 2016

Aceptado: 12 de noviembre de 2016

Salazar, Mariangely: *Obtuvo el título de Ingeniero de Sistemas en la Universidad de Los Andes de Venezuela y actualmente cursa la Maestría en Estadística Aplicada del IEAC, Mérida.*

García, Yohn: *Obtuvo el Doctorado en Ingeniería Química de la Universidad del Sur de Florida, EE.UU. Correo: yohn@ula.ve*

Márquez, Renny: *Obtuvo el título de MSc. en Modelado y Simulación del CESIMO, ULA y actualmente cursa el Doctorado en Sistemas de Ingeniería de la Universidad de Chile. Correo: marquezrenny@ula.ve*