

# Una Propuesta para el Diagnóstico del Estudiante basado en Lógica Difusa

C. Huapaya<sup>(1)</sup>, A. Casali<sup>(2)</sup>, F. Lizarralde<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro de Investigación en Procesos Básicos, Metodologías y Educación  
Facultad Ingeniería-Psicología. Universidad Nacional de Mar del Plata  
{[huapaya](mailto:huapaya@fi.mdp.edu.ar), [flizarra](mailto:flizarra@fi.mdp.edu.ar)}@fi.mdp.edu.ar

<sup>(2)</sup> Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. UNR  
Centro Intl. Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas (CIFASIS)  
acasali@fceia.unr.edu.ar

## Resumen

La evaluación del estado cognitivo de los estudiantes es una acción insoslayable de la actividad de los docentes. También es de vital importancia para construir el modelo del estudiante en un sistema de apoyo al aprendizaje. Esta evaluación presenta diversas facetas a considerar. Entre otras, la medición del nivel del conocimiento presenta gran dificultad en el manejo de la imprecisión originada tanto en la naturaleza dinámica del estado cognitivo del estudiante como en el enfoque interpretativo de las observaciones hechas sobre la actividad del estudiante.

Para representar la imprecisión involucrada en el diagnóstico cognitivo, se propone un modelo de diagnóstico del estudiante basado en lógica difusa. Además, se presenta un caso de estudio en temas de Análisis Numérico, el cual puede contribuir en la toma de decisión evaluativa de los docentes de la asignatura.

**Palabras claves:** Diagnóstico del estudiante, Modelo del estudiante, Lógica difusa.

## Introducción

El proceso de inferencia de las características internas del estudiante a partir de su comportamiento observado durante la interacción evaluador-estudiante se llama

*diagnóstico del estudiante* [1]. Para estimar el diagnóstico se debe registrar el comportamiento observable del estudiante en términos de medidas específicas, desarrollar un método para extraer esta información a través del monitoreo y seguimiento del estudiante e inferir las características internas del conocimiento del estudiante en base a la información recogida. Finalmente, el evaluador tiene que emitir un juicio sobre la información adquirida.

Transferir el proceso precedente a una computadora implica investigar un método que pueda analizar efectivamente las mediciones de la actividad de los estudiantes y hacer estimaciones sobre sus características internas actualizando el estado cognitivo. La estimación del perfil cognitivo utilizando un sistema basado en computadora puede conducir a una evaluación más rápida y ágil. Esta información es usada luego para aconsejar al evaluador o guiar al estudiante.

Existen razones importantes para buscar nuevos métodos de evaluación del conocimiento del alumno, a saber:

- *Puntuación imprecisa:* los docentes asignan, al trabajo de los estudiantes, una nota dentro de un esquema predeterminado. Esta nota puede diferir de un evaluador a otro, dependiendo de la experiencia y sensibilidad de cada uno de

ellos. En general, la nota que se le asigna a un estudiante es una aproximación.

Otra forma de evaluar sus aptitudes, competencias y habilidades es calificarlos con términos lingüísticos como excelente, regular, etc. Se considera que aptitud, competencia y habilidad son conceptos imprecisos. Por ejemplo, en el caso de aptitud en vez de tomar sólo dos valores insuficiente y aprobado, se le puede asociar un conjunto de valores o etiquetas lingüísticas como: casi aprobado o muy insuficiente.

- *Control de la calificación:* usualmente, los docentes evalúan colocando una nota al logro de su estudiante. Casi nunca se usa un método de evaluación alternativo para verificar esa nota final del curso, con la cual se da por aprobado o desaprobado. Un nuevo método eficiente de evaluación puede resultar de gran utilidad para confirmar o refutar la decisión tomada con métodos tradicionales.
- *Uso de la lengua natural en la evaluación académica:* la manipulación de la información por parte de los docentes se hace, generalmente, en lengua natural. Las pruebas pueden ser evaluadas usando términos lingüísticos y con ellos lograr mayor flexibilidad en el juicio sobre el logro del estudiante.

El presente desarrollo intenta abordar la problemática presentada en el marco de un sistema basado en computadora denominado Infosem[2] cuyo objetivo es la evaluación del logro de estudiantes universitarios. Aquí solo se tratará el módulo del diagnóstico. En particular, en una primera etapa actualmente en desarrollo, se analizará la información obtenida durante el dictado de una asignatura de las carreras de Ingeniería.

Este trabajo se estructura de la siguiente forma: en primer lugar se aborda la problemática del diagnóstico del estudiante seguido de una introducción a la lógica difusa

y su relación con el diagnóstico. Luego, se describe el modelo propuesto. A continuación se presenta un caso de estudio y finalmente se plantean algunas conclusiones.

## Diagnóstico del estudiante

Los docentes evalúan el **estado cognitivo** de un estudiante en un momento determinado sobre un tema específico a partir del juzgamiento de la información sobre el conocimiento, creencias, errores, equivocaciones, habilidades cognitivas y capacidad en la resolución de problemas del estudiante.

Un sistema computacional cuyo objetivo sea explorar el estado cognitivo de un estudiante, tiene que adquirir y analizar, en lo posible, la misma información. Sin embargo, la interpretación del comportamiento observable del estudiante es uno de los aspectos más dificultoso de abordar, debido principalmente a la *imprecisión* involucrada en el proceso.

Esta imprecisión se origina en la naturaleza abstracta de la cognición humana (p.e. la interpretación del docente sobre el rendimiento del estudiante medido generalmente con métodos estadísticos y aritméticos) y en el modo que el docente comunica sus preferencias y hábitos al sistema. Además, la adquisición de esta información produce datos sin elaborar, esto es, son datos que pierden precisión debido a la cuantificación posterior. La información registrada por el sistema incorpora estas inexactitudes. Posteriormente, el sistema debe construir un método de decisión basado en datos imprecisos.

## Breve introducción a la lógica difusa

La lógica difusa [3] [4] se basa en la teoría de los conjuntos difusos y ha sido utilizada en la modelización de diversos problemas reales.

Un conjunto difuso  $A$  de un universo de objetos  $X$ , se define a través de su función de pertenencia, definida en el intervalo  $[0,1]$ , i.e., la función  $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ .  $\mu_A(x)$  indica el

grado de pertenencia de cada elemento  $x$  al conjunto difuso  $A$ , el cual se representa como  $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$ . De esta forma,  $(x, 0)$  representa que  $x$  no tiene ninguna pertenencia a  $A$  y el par  $(y, 1)$  representa que  $y$  tiene total pertenencia al conjunto borroso  $A$ . En el caso de  $(z, 0.5)$  se puede considerar que  $z$  tiene mediana relación con  $A$ . Nótese que si la función de pertenencia sólo alcanza los valores 0 o 1, sólo se obtiene la teoría tradicional de conjuntos, pero con la lógica difusa, es posible expresar el grado de pertenencia de  $x$  al conjunto  $A$  con todos los valores intermedios entre 0 y 1.

Es importante notar que la especificación de la función de pertenencia es subjetiva, es decir, que los valores pueden diferir de una persona a otra; esta subjetividad proviene de las diferencias individuales en la percepción o expresión de conceptos abstractos.

La teoría de la lógica difusa busca proveer un fundamento matemático que permita expresar la imprecisión o vaguedad asociada con los procesos cognitivos humanos. En particular, los modelos difusos pueden representar el modo en que los docentes evalúan las características de aprendizaje de sus alumnos, tales como actitudes, nivel de conocimiento, competencias, motivación y estilo de aprendizaje. Además, la lógica difusa es usada para acceder a un razonamiento cualitativo cercano al razonamiento humano cuando toma decisiones, involucrando *imprecisión* y *vaguedad*. La forma de lograrlo es a través de la combinación de hechos y relaciones difusas.

La lógica difusa es particularmente relevante para representar distintas variables en el proceso de evaluación de un alumno. Un alumno puede posicionarse, según algún criterio seguido de evaluación, en algún punto dentro de un intervalo de la variable que se considera. El evaluador puede proponer distintas escalas para tomar decisiones, según el aspecto que desea medir. Por ejemplo, si se desea saber la “velocidad en la resolución de problemas” de un estudiante, puede pensarse

en una escala con distintos términos lingüísticos cuyos extremos sean “muy rápido” y “muy lento” pero donde se consideren otras etiquetas como bastante rápido, rápido, mediana velocidad, lento y bastante lento. En la figura 1 se aprecian dos términos lingüísticos correspondientes a la variable “velocidad en la resolución de problemas” considerando un intervalo de tiempo máximo.

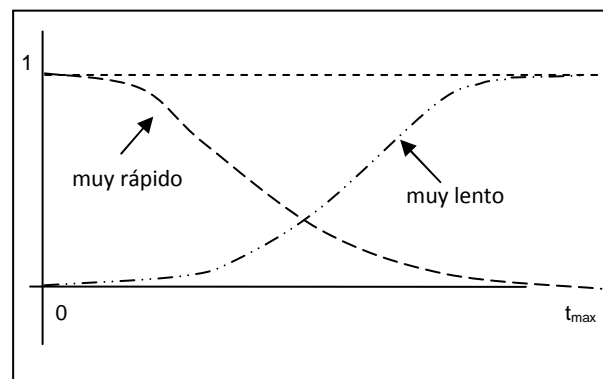


Figura 1: representación de dos términos lingüísticos

La evaluación humana del logro involucra, generalmente, términos lingüísticos como *excelente*, *bueno*, *regular*, etc. los cuales están fuertemente imbuidos de subjetividad y son dependientes de un contexto. Estas etiquetas lingüísticas puedan ser capturadas mejor usando técnicas difusas.

## Modelo del estudiante

Dentro de los sistemas de apoyo al aprendizaje el modelo del estudiante es un módulo esencial de la arquitectura de estos sistemas [5] [6] [7]. El modelo de dominio (tópicos a enseñar), el modelo pedagógico y la interfase con el usuario completan la arquitectura básica de estos sistemas.

En particular, el Modelo del Estudiante como integrante de Infosem (ver figura 2) contiene el *perfil de los estudiantes*, el *organizador de la sesión individual* y el *repositorio de pruebas, problemas y ejercicios*. Cuando un estudiante interactúa con el sistema se activa la *Sesión individual* donde se intenta aproximar

las características que debe presentar el aprendizaje y la asistencia particular.

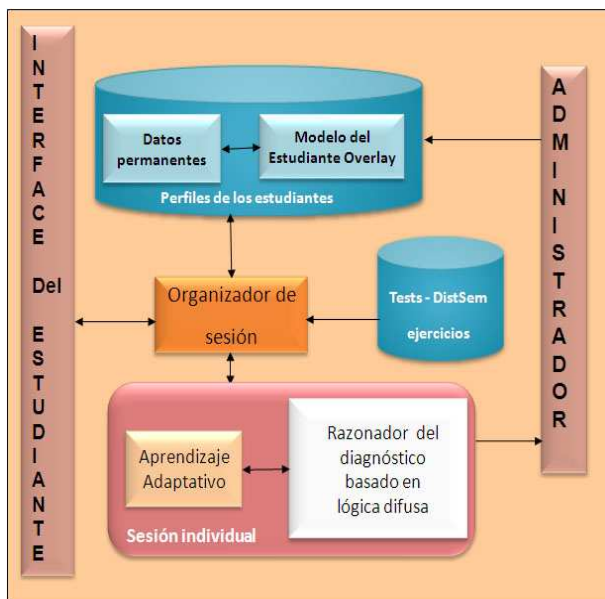


Figura 2: Modelo del estudiante

En este trabajo se focaliza en el *Razonador del diagnóstico basado en lógica difusa*. El resultado de la sesión individual actualiza los datos del perfil del estudiante.

Existen varios desarrollos reportados en la literatura que tratan la evaluación del estudiante usando lógica difusa. En general, la mayoría de los primeros desarrollos se fundamentaron en cálculos numéricos asignando etiquetas difusas, sin inferencia difusa. Por ejemplo, los métodos presentados por Biswas [8] y Law [9] presentan cálculos complejos, y se diferencian de los métodos sencillos de Fourali [10] y Chen & Lee [11]. Los desarrollos más recientes, incorporan reglas difusas como [12] y la sinergia entre redes neuronales y la lógica difusa [13].

## El modelo propuesto

Una representación del dominio a enseñar es el modelo de los mapas conceptuales [14], donde los tópicos se simbolizan con los nodos y sus relaciones conforman los vínculos entre los nodos. Un ejemplo de esta representación para

el dominio de Métodos numéricos aplicados a la evaluación de los conocimientos de los estudiantes se aprecia en la figura 8.

Para que el enfoque difuso pueda representar el razonamiento del docente/evaluador se necesita instanciar uno o varios nodos del dominio para acceder a las pruebas correspondientes. Asimismo, el docente propone los conceptos lingüísticos (que se serán las variables lingüísticas) y sus correspondientes valores a través de conjuntos difusos.

La información que ingresa al **Razonador del diagnóstico** (ver figura 3) está conformada por los resultados de las pruebas que respondieron los alumnos, con las cuales se instanciarán las variables lingüísticas de entrada, que posteriormente permitirán concluir un primer estado del diagnóstico.

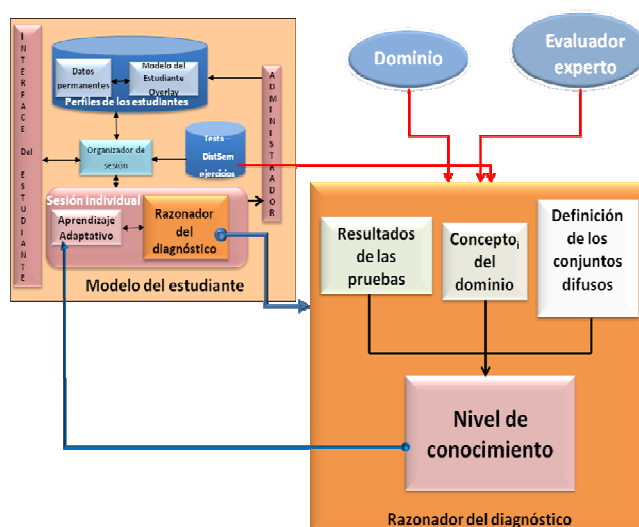


Figura 3: Modelo del razonador del diagnóstico

En esta etapa del desarrollo se intentará estimar el *nivel de conocimiento* alcanzado por el estudiante en el momento que la cursada ha finalizado, esto es, capturar un indicador que integre el logro académico alcanzado. Se analizará la información adquirida por el sistema sobre las notas de exámenes parciales y finales, pruebas específicas computacionales basadas en la distancia semántica DistSem [15].

El nivel de conocimiento contribuirá en el razonador del sistema sobre las estrategias de presentación del siguiente ejercicio/prueba a presentar, lo cual se determinará posteriormente dentro del módulo Aprendizaje Adaptativo (ver Figura 3).

### VARIABLES LINGÜÍSTICAS DEFINIDAS EN EL MODELO

Para estimar el *nivel de conocimiento* se usará tres variables: *progresión de notas*, *nivel de aprobación de las pruebas* y *nota final respecto a la media del curso*.

*Progresión de notas*: se considera importante la evolución de las notas a lo largo del período académico. Un crecimiento importante de las notas indica un mejoramiento en el aprendizaje, mientras que un decrecimiento sostenido implica lo contrario. Los otros casos pueden ser considerados como no significativos (en el sentido de que no ascienden o descienden monótonamente) y no inciden sobre el cálculo del nivel del conocimiento.

Esta variable es calculada en base a las calificaciones de todas las pruebas registradas de cada alumno considerando su cronología. Sus valores son: Creciente, Estable y Decreciente.

Considerando que en ciclo académico se registra  $n$  notas, el cómputo de estos valores se inicia calculando la recta resultante de la aproximación por cuadrados mínimos:

$$\min \sum_{k=1}^n (nota_k - p_1(x_k))^2$$

La pendiente de la recta  $p_1(x)$  muestra la tendencia de las notas. Por ejemplo, si el valor de la pendiente es mayor a -1 y menor que 1, la variable *Progresión de notas* toma el valor Estable.

En la figura 4 se aprecia los tres conjuntos difusos de los valores correspondientes a la variable *Progresión de notas*.

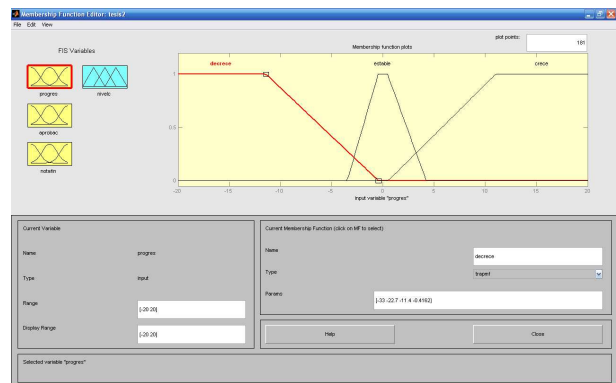


Figura 4: tres conjuntos difusos de *Progresión de notas*

*Nivel de aprobación de las pruebas*: es la información más relevante para decidir el nivel de conocimiento. Los resultados de las pruebas (incluyendo exámenes) son almacenados en el sistema. La variable toma los valores *no satisfactoria*, *satisfactoria* y *muy satisfactoria*. El cálculo es un promedio ponderado:  $nota_i, i=1, n$

$$NivelA = \sum_{i=1}^n w_i \cdot nota_i$$

$n$  es total de notas. Los pesos  $w_i$  ( $0 < w_i < 1$ ) son proporcionados por el experto evaluador y dependen de la importancia que le asigne a cada evaluación.

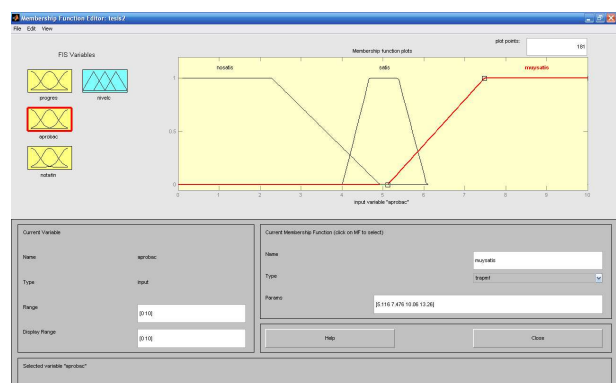


Figura 5: etiquetas de la variable *Nivel de aprobación*

En la figura 5 se aprecian las definiciones que se le ha dado en esta propuesta a los tres conjuntos difusos correspondientes a esta variable.

Nota final respecto a la media del curso: aquí se compara el rendimiento individual de cada alumno (a través de su nota final integradora, especialmente calculada) con respecto al desempeño promedio de todos los estudiantes del curso. Esta medida es relativa al curso particular. Se consideran relevantes las notas alejadas del promedio. Las notas cercanas a la media no influyen en el nivel del conocimiento. Se han determinado los siguientes valores: *debajo de la media*, *alrededor de la media* y *arriba de la media*.

M: cantidad de los alumnos del curso

DP: desempeño promedio curso

$$DP = \frac{\sum_{i=1}^M NF_i}{M}$$

NF<sub>i</sub> : nota final integradora individual

RM: distancia a la media

$$RM = NF_i - DP$$

En la figura 6 están graficadas las funciones que representan los conjuntos difusos correspondientes a los términos: *debajo*, *alrededor*, *arriba*.

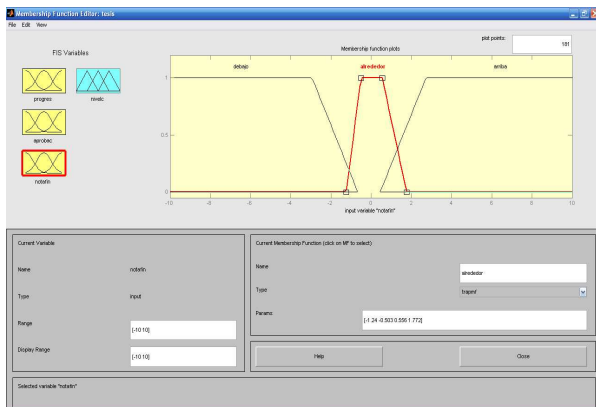


Figura 6: variable *Nota final respecto a la media del curso*

Finalmente, la variable de salida *nivel de conocimiento* toma los valores bajo, medio y alto indicando la categoría alcanzada por el estudiante según la información analizada en *progresión de notas*, *nivel de aprobación de las pruebas* y *nota final respecto a la media del curso*. El nivel estimado provee una guía al evaluador, asistiéndolo en su toma de

decisión. En la figura 7 se ven las tres funciones que representan los conjuntos difusos de los tres valores de la variable *nivel de conocimiento*.

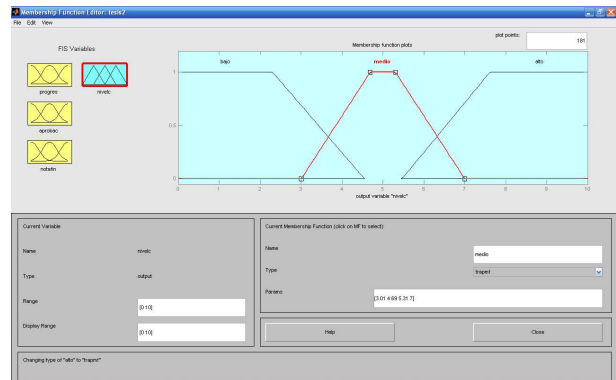


Figura 7: variable *Nivel de conocimiento*

## Reglas difusas

Los docentes no construyen modelos detallados estrictos o precisos para la interpretación del desempeño de los estudiantes como tampoco lo hacen para decidir la adaptación de su estrategia de enseñanza a partir de esta evaluación. A partir de la información adquirida sobre la actividad del estudiante, el docente se forma ideas generales sobre qué tipo de estrategia de enseñanza funciona mejor para cada alumno. En general, los estudiantes son clasificados en términos de pocas características subyacentes, como habilidad intelectual, motivación o *nivel de conocimiento*.

En nuestro caso, para inferir los valores del nivel de conocimiento, se ha considerado que *Nivel de aprobación de las pruebas* es la variable de entrada que guiará fundamentalmente la categorización y que las otras dos variables consideradas (*progresión de notas* y *nota respecto a la media*), contribuirán en menor medida.

A partir del grupo docente involucrado en el desarrollo, se proponen reglas en lenguaje natural como las siguientes:

Si (*nivel de aprobación de las pruebas* es muy satisfactoria)

y



(nota final respecto a la media está por arriba de la media)

Y

(progresión de notas es creciente)

entonces

(nivel de conocimiento es alto) [1]

Si (nivel de aprobación de las pruebas es satisfactorio)  
y (nota final respecto a la media está por alrededor de la media)

Y

(progresión de notas es estable )

entonces

(nivel de conocimiento es medio) [2]

Si el nivel de conocimiento es bajo

entonces

se recomienda refuerzo de los temas [3]

Si el nivel de conocimiento es medio

Y

Totalizador muy satisfactorio

Entonces

Se recomienda aprobar el curso [4]

Estas reglas capturan los criterios subjetivos de los docentes en un contexto determinado, expresados en lengua natural, las cuales se representarán mediante reglas difusas en el sistema.

## Caso de estudio

A continuación se muestra un ejemplo de diagnóstico usando el modelo descrito a partir de información obtenida en el curso de Análisis Numérico para Ingeniería del año académico 2009.

### Preparación del diagnóstico

Para el análisis del problema del diagnóstico se ha elegido un contexto específico en el dominio y en el tiempo. La actividad del estudiante estará relacionada con una porción del dominio del conocimiento, como por ejemplo, Análisis Numérico. Para este análisis se han previsto las siguientes acciones previas:

- **Análisis del dominio del conocimiento:** este análisis se hará con la cooperación de docentes expertos en el dominio. Se recortará una sección del dominio (p.e. un tema de la asignatura) que se considere importante para ser evaluada. Por ejemplo, métodos numéricos para ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO).
- **Descomposición del dominio:** el tema será dividido en secciones tan pequeñas (granularidad) como el experto lo considere apropiado. Por ejemplo, tomar los Problemas de Valores Iniciales (PVI) y dividir en métodos numéricos de paso único y de paso múltiple. Un ejemplo de la representación del dominio mediante un mapa conceptual se aprecia en la figura 8.



Figura 8: Representación del dominio

- **Desarrollo de una base de datos que contenga preguntas y ejercitación:** la base de datos almacenará diferentes categorías de pruebas a fin de ser presentadas al estudiante de acuerdo a la etapa de la evaluación en que se encuentre (diagnóstica, formativa o sumativa, i.e., se proporciona un tiempo específico cuando será analizado el estado cognitivo).

### Desarrollo del diagnóstico de un alumno

La modalidad de evaluación de la cátedra indica que si un promedio ponderado de las 5 primeras notas es menor que 5 debe rendir un recuperatorio; si es mayor o igual a 5 y menor que 7, el alumno debe rendir un totalizador y si es mayor o igual a 7, está promocionado y no rinde otro examen.

La nota final es el promedio entre las notas del totalizador y un promedio ponderado del resto de los exámenes.

En este método “crisp” de clasificación, un alumno que tenga un promedio de 4,9 estará en una situación diferente respecto a uno que tenga 5,1 cuando sus realidades respecto al logro alcanzado posiblemente sean similares. Se quiere ver como a través del modelo difuso esta clasificación puede reflejar mejor la realidad y a la vez, contrastar los resultados obtenidos con el modelo tradicional

Ejemplo:

Los siguientes datos son los registros pertenecientes a un estudiante de la asignatura mencionada:

Tipo de prueba	Fecha	Nota
1. DistSem (diagnóstico)	10/08/09	1
2. Parcial 1	01/10/09	4
3. Parcial 2	02/12/09	7
4. DistSem (final)	02/12/09	5
5. Proyecto	10/12/09	7
6. Recuperatorio	14/12/09	-
7. Totalizador	22/12/09	6
NOTA FINAL		$(5.6+6)/2=5.8$

Cuadro 1: notas tradicionales

El estudiante en análisis no rindió el recuperatorio y tuvo que rendir un examen totalizador.

Las variables lingüísticas del modelo toman los siguientes valores:

- *Progresión de notas:*

La pendiente de la recta de aproximación por cuadrados mínimos es 0.914. En consecuencia

la variable toma los valores (Estable,0.9) , (Creciente, 0.15) y (Decreciente,0).

- *Nivel de aprobación de las pruebas:*

$$\text{NivelA} = 0.05 \cdot 1 + 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 7 + 0.05 \cdot 5 + 0.2 \cdot 7 + 0.3 \cdot 6 = 5.7$$

Este resultado ubica al alumno en los conjuntos difusos con los valores (No satisfactorio, 0), (Satisfactorio, 0.8) y (Muy satisfactorio, 0.2).

- *Nota final respecto a la media del curso*

El promedio del curso 2009 con las notas del cuadro 1 fue 5.12, en consecuencia el estudiante obtuvo una distancia a la media de  $5.80 - 5.12 = 0.68$ , i.e., se ubicó en (Debajo,0), (Alrededor,0.85) y (Arriba,0.2).

El sistema de reglas desarrollado calcula el valor de la variable Nivel del conocimiento (figura 9). De acuerdo a este resultado, este alumno queda representado por los

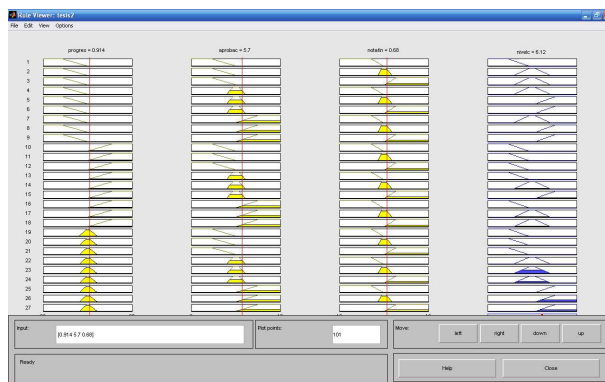


Figura 9: cálculo del Nivel de conocimiento

valores del *nivel de conocimiento* (Bajo,0), (Medio,0.5) y (Alto,0.25).

Se aprecia que el nivel de conocimiento calculado indica concordancia con la clasificación numérica de la nota final (5.8) obtenida por el alumno. Este resultado alternativo permite establecer resultados cualitativos, mostrando que el conocimiento presenta principalmente un nivel medio, pero



además, pertenece ligeramente al nivel alto. Esta información amplía el resultado numérico único de la evaluación tradicional, agregando el hecho de que este estudiante presenta una tendencia hacia el nivel superior.

## Conclusión

El objetivo perseguido en este trabajo fue el tratamiento de los juicios que hace el docente sobre el rendimiento de los estudiantes. El punto central del tratamiento fue la imprecisión involucrada en la evaluación.

La propuesta emplea información obtenida de la actividad de estudiante a lo largo de un período académico. En esta etapa del desarrollo, se utilizaron los datos que tradicionalmente se usan en el nivel universitario para la evaluación del logro.

Se usó un modelo lingüístico difuso para implementar un mecanismo de inferencia parecido a la forma en que los humanos toman decisiones.

Como caso de estudio, se ha recolectado información de la actividad de los alumnos de dos asignaturas de la Facultad de Ingeniería correspondiente a los años 2008 y 2009. La experiencia mostró un camino para obtener información adicional a partir de las notas tradicionales y proponer al evaluador otra faceta de la actividad del estudiante. Asimismo, se continuará con este mecanismo para disponer información histórica a fin de probar el prototipo en desarrollo.

Se ha previsto enriquecer el modelo del diagnóstico analizando otros aspectos involucrados en la evaluación. Para tal fin se analizarán variables como *interés* y *esfuerzo*, *entendimiento*, *habilidad en la resolución de problemas* y *cantidad de errores típicos*. Durante el dictado del curso Análisis Numérico 2010, se administrarán nuevas pruebas y ejercicios para el tratamiento de esas variables y de ese modo adquirir información adicional que permita evaluar si estas nuevas

variables y relaciones entre ellas mejoran el modelo del estudiante.

## Referencias

- [1] VanLehn K. Student modeling. En Foundations of Intelligent Tutoring Systems, eds.: Polson M.C. y Richardson J.J. Lawrence Erlbaum. 1988.
- [2] Huapaya C., G. Arona, F. Lizarralde, J. Vivas. InfoSem: Distancia Semántica entre conceptos como base de la Evaluación Cognitiva. En el libro "Las ciencias del Comportamiento en los albores del Siglo XXI". UNMDP-Conicet. , 405-411, 2005.
- [3] Zadeh L.A.. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning . I-III Information Sci 8, , 199-250 y 301-357. 1975.
- [4] Dubois D. y Prade H. What are fuzzy rules and how to use them. Fuzzy sets and systems, 84:169-185. 1996.
- [5] Burns, Capps. Foundation of Intelligent Tutoring Systems: An Introduction. En M. Polson & Richardson (eds). Foundation of Intelligent Tutoring Systems. Lawrence Erlbaum Associates Publishers USA. 1988.
- [6] Anderson John R. . The Expert Module. In Martha C. Polson & J.J. Richardson. Foundations of Intelligent Tutoring Systems. LEA. Hillsdale, New Jersey. 1988.
- [7] Murray T. Blessing S y Ainsworth. Authoring Tools for Advance Technology Learning Environments. Kluwer Academic Publishers. 2003.
- [8] Bitwas R. An application of fuzzy sets in students' evaluation. Fuzzy sets and systems. 74:187-194.1995.
- [9] Law C. Using fuzzy numbers in educational grading systems. Fuzzy sets and systems. Pp 311-323. 1996.
- [10] Fourali C. Fuzzy logic and the Quality of Assessment of Portfolios. Fuzzy sets and systems. 68:123-139. 1994.
- [11] Chen S. M., Lee C.H. New methods for Students' Evaluation using fuzzy sets. Fuzzy sets and systems. 104:209:218. 1999.
- [12] Nykanen O. Inducing Fuzzy Models for Student Classification. Educational Technology & Society. 9(2), 223-234. 2006.
- [13] Stathacopoulou R., Magoulas G., Grigoriadu M, y Samarakou M. Neuro-fuzzy knowledge processing in intelligent learning environments for improved student diagnosis. Information Sciences. Elsevier. 2005.
- [14] Novak, J. D. y Gowin, D.B. Aprendiendo a aprender. Barcelona. Martínez. 1988.
- [15] Vivas J., Método Distsem: procedimiento para la evaluación de distancias semánticas. Revista Perspectivas en Psicología, 1, 56-61, 2004.