

*Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas  
Facultad de Matemática, Física y Computación  
Licenciatura en Ciencias de la Computación*



*Trabajo de Diploma  
Editor de Preguntas con Evaluación Difusa*

*Autores:*

*Yanirys Martí Martín  
Yuneisy Jiménez López*

*Tutores*

*Msc. Maiquel León Espinosa  
Dr. Yanet Rodríguez Sarabia*

*Julio 2008*

Hacemos constar que el presente Trabajo de Diploma ha sido realizado en la facultad de Matemática, Física y Computación de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV) como parte de la culminación de los estudios de Licenciatura en Ciencia de la Computación, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma total como parcial y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la previa autorización de la UCLV.

---

Firma del Autor

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y que el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Tutor

---

Firma del Tutor

---

Jefe del Seminario de  
Informática Educativa

*La confianza en sí mismo es el primer secreto del éxito.*

*Ralph Waldo Emerson.*

*A mi mamá, quien ha dado todo por hacer realidad mi sueño.*

*Yuneisy*

*A mis padres, las personas que más quiero en la vida.*

*Yanirys*

*A Dios.*

*A mi mamá y a Pincho, por el amor, el esfuerzo, la preocupación y la entrega de tantos años. Gracias por confiar en mí.*

*A mi papá, que quiero mucho por su preocupación y ayuda incondicional. Gracias por estar aquí.*

*A mis abuelos, por su apoyo y cariño infinito.*

*A mis hermanos Rachel y Edel, por existir.*

*A Yany, mi compañera de Tesis y amiga, por su comprensión y ayuda en todos los momentos. Gracias por soportarme.*

*A mis tutores Yanet y Maikel, por su apoyo y paciencia sin límite. Por estar presentes a pesar de la distancia.*

*A Rodolfo, por su cariño, comprensión y apoyo. Gracias por estar a mi lado.*

*A Erilys y Eikel, más que amigos, hermanos. Gracias por compartir conmigo los momentos alegres y tristes de mi vida.*

*A Damny, por su infinita paciencia, apoyo y ayuda incondicional durante todos estos años.*

*A mi familia, que de una manera u otra forman parte de este logro.*

*A mis amigos y profesores, por el tiempo compartido.*

*A Yervilla y Alejandro, por su ayuda en la realización de esta Tesis. Gracias por todo.*

*Muchas Gracias a todos*

*Yuneisy*

*A Dios.*

*A mis padres que son mi vida por la confianza, el apoyo, el cariño que siempre me han dado.*

*A Mirka, Jorgito y su familia por haberme hecho sentir parte de ella.*

*A Yuny mi compañera de tesis y amiga por haberme soportado durante estos últimos meses.*

*A mis tutores Yanet y Maikel por su apoyo y ayuda incondicional.*

*A Yerva y Elisa por su amistad y por estar presente en todo momento.*

*A Alejo y Damny que me ayudaron siempre que los necesité.*

*A Ghassan que desde primer año estuvo pendiente de mis estudios.*

*A todos los profesores que a lo largo de estos años han influido en mi formación profesional.*

*A toda mi familia y amigos que de una forma u otra han contribuido a este mi gran sueño.*

*A todos muchas gracias de corazón*

*Yanirys*

## **RESUMEN**

El proceso de evaluación que generalmente se desarrolla en los editores de preguntas para la evaluación de los Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes se caracteriza por ser poco flexible. La aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial utilizando la lógica difusa puede acercar este proceso a como lo hace un experto humano, ofreciéndole al profesor la posibilidad de definir su propio sistema de evaluación para un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente determinado.

Este trabajo presenta un editor de preguntas con evaluación difusa, denominado EPED, que puede formar parte de un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente. El mismo permite a expertos no especialistas en computación crear tópicos y preguntas que aborden contenidos de cualquier especialidad y nivel de enseñanza. Además utilizando la teoría de la lógica difusa se define un modelo para la evaluación del estudiante, que se basa en términos lingüísticos utilizados en la evaluación de tópicos y preguntas, en lugar de la evaluación cualitativa o cuantitativa que tradicionalmente utiliza el profesor.

## **ABSTRACT**

The evaluation process generally developed in the question editors for the evaluation of the Intelligent Teaching-Learning Systems is characterized by its low flexibility. The application of both Artificial Intelligent techniques and fuzzy logic can make this process more closely related to the procedures that would be followed by a human expert, offering the teacher the possibility of defining their own evaluation system for a given Intelligent Teaching-Learning System.

This work presents a question editor with fuzzy evaluation, called EPED, that may form part of an Intelligent Teaching-Learning System. It allows experts who are not computer specialists to create topics and questions about contents of any specialty and level of education. Additionally, a model for student evaluation using fuzzy logic theory, which uses linguistic terms instead of qualitative and quantitative evaluation traditionally used by the professor, is defined.

**ÍNDICE**

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. EDITORES DE PREGUNTAS PARA SISTEMAS DE ENSEÑANZA- APRENDIZAJE INTELIGENTES Y LÓGICA DIFUSA .....	5
1.1 Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes .....	5
1.2 Editores de Preguntas.....	7
1.3 La evaluación basada en términos lingüísticos .....	14
1.4 Otros aspectos de la lógica difusa .....	22
1.4.1 Operadores de Agregación.....	22
1.4.2 Relaciones Binarias Difusas .....	25
1.4.3 Sistema de Inferencia Difuso .....	27
1.5 Conclusiones parciales.....	28
CAPÍTULO II. EDITOR DE PREGUNTAS CON EVALUACIÓN DIFUSA PARA SISTEMAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE INTELIGENTES.....	30
2.1 Editor de Preguntas para un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente. ....	30
2.1.1 Generalidades de EPED.....	31
2.1.2 Casos de uso del sistema.....	34
2.1.3 Implementación computacional del editor.....	35
2.2 Evaluación difusa para un editor de preguntas .....	39
2.2.1 Descripción del modelo computacional.....	40
2.2.2 Implementación computacional del sistema de evaluación .....	41
2.3 Un Caso de Estudio: EPED para un SEAI de Historia de Cuba.....	47
2.4 Conclusiones Parciales .....	48
CAPÍTULO III. MANUAL DE USUARIOS.....	49
3.1 Manual de Usuario.....	49
3.1.1 Interfaz para el usuario Profesor .....	50
3.1.2 Interfaz para el usuario Estudiante.....	63

CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	68

## **INTRODUCCIÓN**

En ocasiones los profesores ofrecen consultas a sus estudiantes para que profundicen en algunos contenidos. El uso de la computación puede ayudar en este propósito, por lo que resulta conveniente disponer de una herramienta que facilite la elaboración de preguntas que puedan ser contestadas por los estudiantes en la computadora y que esta pueda ofrecer un diagnóstico comportándose lo más cercano posible a un profesor real.

Los investigadores que trabajan en el campo de la Inteligencia Artificial en la educación, buscan ambientes basados en computadoras que colaboren y mejoren el proceso de enseñanza-aprendizaje. Los Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes (SEAI) ayudan en gran medida a lograrlo.

Los SEAI constituyen un grupo de aplicaciones de enseñanza que promueven un aprendizaje individual y flexible basado en el conocimiento y comportamiento del usuario. Están diseñados para apoyar el proceso educativo, donde se tiene en cuenta quién es el que enseña y quién es el que aprende con el propósito de alcanzar determinados objetivos (García, 1993).

Cada persona aprende de manera distinta a las demás: utiliza diferentes estrategias, aprende con ritmos diferentes, e incluso con mayor o menor eficacia aunque tengan las mismas motivaciones, el mismo nivel de instrucción, la misma edad o estén estudiando el mismo tema. Los SEAI deben ser fáciles de usar por profesores y estudiantes sin importar el dominio de las ciencias al que pertenezcan, estos sistemas además encontrarán un uso efectivo en la medida en que mejor se adapten a las características individuales de los estudiantes.

Para elaborar un SEAI es necesario diseñar e implementar preguntas que permitan captar el estado cognitivo de un estudiante. Si bien todo profesor es capaz de concebir preguntas, aquellos que no son especialistas en computación probablemente no lograrán implementarlas en un sistema computacional. Para facilitar el trabajo de los profesores y ofrecerles la oportunidad a todos por igual de elaborar un SEAI, surge entonces la idea de confeccionar un editor con este fin (León, 2007).

Los editores de preguntas son programas que en mayor o menor medida facilitan la interacción de los estudiantes con un sistema de enseñanza. Constituyen en la actualidad una de las herramientas más utilizadas en los SEAI. Pretenden que, a partir de informaciones y mediante la realización de ciertas actividades previstas de antemano, los estudiantes pongan en juego determinadas capacidades y aprendan o refuercen conocimientos y/o habilidades. Se basan en la comparación de las respuestas de los estudiantes con los patrones que tienen como correctos, guían el aprendizaje de los estudiantes y facilitan la realización de prácticas rutinarias y su evaluación; en algunos casos una evaluación negativa genera una nueva serie de ejercicios de repaso (Fernández, 2005).

El diagnóstico es sin duda uno de los procesos más importantes dentro de cualquier SEAI, de la calidad del modelo del estudiante dependerá la capacidad de adaptación del sistema. Desgraciadamente, no siempre se le presta la atención que merece, dado que el gran esfuerzo que supone desarrollar un SEAI hace que a menudo el problema del modelo del estudiante se resuelva mediante la aplicación de heurísticas diseñadas a tal fin. Pero la falta de consistencia de dichas heurísticas hace que el comportamiento del sistema sea impredecible, sobre todo en situaciones diferentes a las inicialmente previstas por sus diseñadores. Es por ello que pese al esfuerzo adicional que supone, merece la pena utilizar teorías bien fundamentadas y ampliamente comprobadas que garanticen el funcionamiento óptimo del sistema en todas las situaciones posibles, en concreto, se propone el uso de la lógica difusa como marco teórico, el cual proporciona una forma natural y efectiva para el desarrollo de sistemas computacionales de apoyo educacional (Kolodner, 1992).

La lógica difusa es aquella que utiliza expresiones que no son ni totalmente ciertas ni completamente falsas, como las que se utilizan en la comunicación cotidiana (Chiang and Lin, 1999). Cuando se hacen enunciados tales como “Juan obtuvo una calificación de bien” o “la evaluación de Pedro es regular”, que todos entienden con claridad, se utilizan conceptos cuya definición, si se pretende que sea entendida por una computadora, acarrea una serie de problemas inherentes al hecho de que tanto "bien" como "regular" son conceptos relativos. Siempre se está "bien" en un diagnóstico o "regular" con relación a algo que no se puede expresar mediante una definición clara; por ejemplo, se supone que

los estudiantes que obtienen bien son los que superan una calificación de 95 puntos, se puede concluir, de manera errónea, que un estudiante que obtuvo 94 puntos esta regular.

La lógica difusa es la lógica aplicada a conceptos que pueden ostentar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto continuo de valores que oscilan entre dos extremos. Conviene recalcar que lo que es “difuso”, impreciso o vago no es la lógica en sí, sino el objeto que estudia: expresa la falta de definición del concepto a que se aplica (Russell and Norvig, 2002). Si se utiliza esta teoría en los SEAI la evaluación del conocimiento del estudiante por parte del profesor se realizará con mayor naturalidad.

### **Objetivo general**

Desarrollar un editor de preguntas para Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes utilizando lógica difusa en la modelación de la evaluación, que permita que esta se realice de una forma más natural y cercana posible al diagnóstico real ofrecido por un profesor.

### **Objetivos específicos**

- Implementar una interfaz visual usable y amigable que le permita al profesor interactuar fácilmente con la herramienta.
- Elaborar una herramienta que permita a profesores no necesariamente especialistas en computación implementar preguntas de cualquier especialidad y nivel.
- Implementar un Sistema de Inferencia Difuso para realizar la evaluación de los estudiantes.

### **Preguntas de investigación**

- ¿Cómo aplicar la lógica difusa para garantizar una mayor naturalidad en la evaluación de los estudiantes obtenida a través de un editor de preguntas?
- ¿A través de un Sistema de Inferencia Difuso se obtendrá una evaluación lo más real posible del estado cognitivo del estudiante?

El presente trabajo está estructurado en tres capítulos:

En el Capítulo I se realiza un estudio sobre los editores de preguntas para un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente; así como la forma de evaluación aplicada en los

mismos. Se propone la aplicación de la lógica difusa para lograr una mayor flexibilidad de la evaluación en dichos editores. Se abordan conceptos generales sobre los Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente y de la teoría de la lógica difusa. En el Capítulo II se exponen los detalles más relevantes de la implementación del editor de preguntas y su sistema de evaluación haciendo uso de esta teoría y se muestran ejemplos del funcionamiento del editor de preguntas implementado (EPED) aplicando evaluación difusa. Por último, en el Capítulo 3 se presenta el manual de usuarios de EPED.

## **CAPÍTULO I. EDITORES DE PREGUNTAS PARA SISTEMAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE INTELIGENTES Y LÓGICA DIFUSA**

En este capítulo será abordado el tema de la elaboración de editores de preguntas para Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes, donde se expone la utilidad de este tipo de software y sus características principales. Se muestran diferentes tipos de preguntas que pueden ser implementadas en estas aplicaciones educativas así como el tema de la lógica difusa, que será utilizada en la etapa de evaluación al estudiante que interactúa con la herramienta.

### **1.1 Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes**

La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la Educación, constituye actualmente un campo de creciente interés donde se tratan, fundamentalmente, de aplicar las técnicas de la IA al desarrollo de sistemas de enseñanza asistida por computadora con el propósito de construir Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes. Seymour Papert y Marvin Minsky consideraron las ideas de la ciencia de la computación no sólo como instrumento de explicación del modo en que de hecho funciona el aprendizaje y el pensamiento, sino también como instrumento de cambio que podría alterar y posiblemente mejorar la manera en que las personas aprenden y piensan (Seymour, 1981).

En esta área de investigación trabajan investigadores de diversos campos, principalmente de la Pedagogía, Psicología, Ciencias Cognitivas, IA, Multimedia e Informática en general, donde cada uno de ellos aporta su visión al desarrollo de la disciplina.

Las raíces de la instrucción asistida por computadoras se encuentran a finales de los años 50 en las grandes universidades americanas. Un ejemplo de estos trabajos iniciales es el proyecto PLATO de la universidad de Illinois en EEUU. Con el advenimiento de los microordenadores, a finales de los 70, estos sistemas se extendieron a las pequeñas universidades adquiriendo la denominación de CBT (Computer Based Training). Paralelamente, en el área de la IA se comenzaron a construir CBT que intentaban simular el razonamiento o lógica humana.

Por su parte los Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes constituyen una vía para el empleo de las técnicas de IA en la enseñanza-aprendizaje. Se propone el uso de estos a fin de mejorar la interacción del estilo de enseñanza del profesor y las preferencias de aprendizaje de los estudiantes.

Los SEAI enfocan una sesión de trabajo como un proceso de cooperación entre el sistema y el estudiante, con el objetivo de propiciar el aprendizaje. El sistema debe analizar en cada momento el comportamiento del estudiante para caracterizar su actuación y decidir cuál es la estrategia más adecuada a aplicar; qué explicarle, con qué nivel de detalle, cuándo interrumpirle, cómo corregirle, de forma que culmine con éxito el proceso de aprendizaje. Un aspecto fundamental es que para decidir y aplicar dicha estrategia, es necesario conocer la materia que se imparte y comprender la forma en que se asimila (García, 1993).

En (Bello, 2002) se exponen las variantes metodológicas para los SEAI:

- Tutores inteligentes.
- Entrenadores inteligentes.
- Sistemas inteligentes basados en simulación.
- Juegos inteligentes.

Los Sistemas Tutoriales Inteligentes (STI) fueron una de las primeras aplicaciones prácticas de las ciencias del conocimiento, resultando ser un éxito desde el punto de vista académico. Generalmente persiguen objetivos de aprendizaje bien definido y comúnmente aceptado, como conocimiento factual y habilidades que pueden medirse mediante test estandarizados. Los desarrolladores de estos sistemas han tratado de mostrar, utilizando métodos tradicionales de enseñanza-aprendizaje y evaluación, que mejoran significativamente la velocidad y calidad del aprendizaje de los estudiantes y hasta cierto punto han obtenido éxito en sus pretensiones.

A grandes rasgos y sin entrar en sus particularidades resulta conveniente señalar que todo Sistema Tutorial Inteligente se ajusta a una arquitectura compuesta por:

**Modelo Pedagógico:** Es el módulo capaz de pronosticar la evolución del estudiante, toma las decisiones sobre cómo impartir el conocimiento, es decir, se especifica la forma de presentar el material o dosificación de la enseñanza-aprendizaje.

**Modelo de Comunicación:** También denominado interfaz, es el encargado de establecer la comunicación entre el estudiante y el sistema.

**Conocimiento del Dominio:** Módulo que recoge toda la información sobre la asignatura (temario, problemas, ejercicios, esquemas, exámenes, etc.), es donde se representa el contenido temático a enseñar.

**Modelo Experto en el Dominio de Interés:** Es capaz de comprender las respuestas del estudiante hacia el sistema y verificar si son correctas o no.

**Modelo del Estudiante:** Recoge datos históricos sobre los resultados y características del estudiante. En este módulo se almacena toda la información posible que se dispone del estudiante, se evalúa su estado de conocimiento y sus características.

Particularmente, los entrenadores inteligentes están esencialmente orientados al desarrollo de habilidades, pues no pretenden la dirección total del proceso de instrucción ni llevan a cabo la formación de conceptos nuevos. Sólo supervisan la actividad práctica del estudiante mediante el control de los errores durante la solución de los ejercicios, hacen recomendaciones y controlan la presentación dosificada de problemas y ejercicios.

## 1.2 Editores de Preguntas

Para facilitar la tarea de los profesores en el momento de confeccionar un SEAI son utilizados los editores de preguntas. Estos constituyen uno de los elementos importantes en el desarrollo del Software Educativo. En la actualidad son muchos los editores de preguntas que se han confeccionado con el objetivo de proporcionar una forma fácil y dinámica de dirigir el aprendizaje de los estudiantes. Algunos resultados interesantes de la consulta a la literatura científica referente al tema se muestran a continuación:

- **Software Autor de Questionmark™ Perception™:** Es una aplicación basada en Windows que provee un entorno eficaz para la creación y publicación de preguntas, evaluaciones y la administración de contenido de asistencia.

Con este sistema de autoría, capacitadores, docentes, diseñadores de programas de educación y expertos en contenido pueden crear preguntas y organizarlas en evaluaciones, pruebas, concursos de preguntas y respuestas, exámenes y encuestas, para distribuir en línea o fuera de ella.

- **Exámenes 2.0:** Es un programa para Windows 95, que permite crear exámenes tipo test, totalmente distintos entre sí, de forma automática, y corregirlos posteriormente mediante escaneado o introducción de datos por teclado o ratón.
- **iGiveTest v2:** Es una solución integral para crear, administrar y analizar minuciosamente los tests a través de Internet e Intranet. El programa representa la manera rápida y profesional de crear y organizar tests para los empleados, estudiantes o personas que está estudiando o pasando un curso de prácticas.

Con la ayuda de iGiveTest v2 se puede hacer diversas preguntas (Verdadero o Falso, Selección Múltiple, respuesta corta, composición, preguntas que tienen más de una respuesta correcta). Puede elegir la evaluación de cada pregunta (por ejemplo, 2 puntos por una respuesta correcta, 0.5 puntos por una respuesta parcialmente correcta y 0 por una respuesta incorrecta); también ofrece la posibilidad de crear test psicológicos, pruebas y todo tipo de cuestionarios donde normalmente no hay respuestas correctas o incorrectas.

- **WebQuestions 2.0:** Es un programa que de una forma muy sencilla permite elaborar cuestionarios interactivos en forma de páginas Web sin tener conocimientos de programación.
- **Avaluator 3.0:** Este software está diseñado para evaluar estudiantes en los diferentes centros educativos. Es un programa que consta de dos aplicaciones: Un editor pensado para formular las preguntas de un control y un programa que pregunta y evalúa los contenidos formulados por el editor.

Los software anteriores se caracterizan porque de forma general todos desarrollan los mismos tipos de preguntas (Verdadero o Falso, Selección Simple, Selección Múltiple, etc.). Estas se pueden editar de forma sencilla facilitando el trabajo de los profesores. Las formas de evaluación empleadas en ellos se hacen mediante variables discretas, continuas o

heurísticas especificadas. Los resultados que se obtienen mediante estos sistemas de evaluación son poco flexibles.

### **Tipos de preguntas**

Las preguntas comúnmente empleadas por los profesores tanto en los exámenes parciales y finales como comprobaciones escritas son básicamente de dos tipos:

- **Respuesta cerrada:** Requieren del estudiante simplemente seleccionar la respuesta a partir de una o varias alternativas que el profesor le presenta; pertenecen a este tipo las preguntas de Verdadero o Falso, Selección Simple, Selección Múltiple y de Apareamiento.
- **Respuesta abierta:** Requiere que el estudiante elabore sus propias respuestas a las preguntas formuladas en el examen; pertenecen a este tipo las preguntas de completar frases, las que exigen respuestas cortas elaboradas por el estudiante, que requieren como resultado un ensayo, exigen del estudiante expresar y justificar su opinión con respecto a un enunciado.

En ocasiones los profesores presentan inquietudes acerca de cuan factible es o no un tipo de pregunta para un examen determinado. Sin embargo para un editor de pregunta resulta más conveniente utilizar preguntas de tipo respuestas cerradas. El tipo de preguntas respuestas abiertas necesita un procesamiento del lenguaje natural muy profundo, en cambio las preguntas del tipo respuestas cerradas son menos propicias a cometer errores de interpretación por parte del estudiante o que la computadora no entienda lo que quiso expresar dicho estudiante. Ofrece facilidad a la herramienta, y resulta más viable la interacción persona-computadora.

### **Pregunta tipo respuesta cerrada**

#### **Verdadero o Falso:**

Están compuestas por un conjunto de afirmaciones que pueden ser correctas o no. Es conveniente tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Expresar solamente una idea (sin trampas).
- Eliminar adverbios como: “todo”, “siempre”, “ninguno”, “nunca”, “usualmente”, “alguna vez”, “a veces”.

- No emplear palabras textuales de los libros.
- Evitar frases en paréntesis.
- Redacción con lenguaje claro y preciso.
- No utilizar preposiciones negativas (ejemplo; “los diabéticos no deben dejar descuidar su dieta”)

El estudiante deberá seleccionar V o F en cada afirmación de acuerdo a sus conocimientos (véase figura 1.1).

Conteste Verdadero (V) o Falso (F).

- a)   V   La Protesta de Baraguá constituye una firme negación a la firma del Pacto del Zanjón por parte de Antonio Maceo y su tropa.
- b)   F   El asalto al Palacio Presidencial fue uno de los hechos más significativos de la revolución de los años 30.
- c)   F   La Toma de Santa Clara por el Che y su tropa constituyó una derrota del Ejército Rebelde.
- d)   V   El ataque a El Uvero constituyó la primera gran victoria del Ejército Rebelde sobre las tropas de la tiranía batistiana.
- e)   V   El 12 de agosto de 1933, se produce la caída del régimen del dictador Machado como consecuencia de la huelga general revolucionaria en cuya organización desempeña un papel decisivo Rubén Martínez Villena.
- f)   F   El Himno Invasor fue compuesto por Perucho Figueredo para la guerra del 95.

**Figura1.1** Ejemplo de tipo de pregunta Verdadero o Falso

### **Selección Simple:**

Se utiliza para evaluar conocimientos del vocabulario, comprensión y aplicación de principios o habilidades y deben presentar las características siguientes:

- Están compuestas por una guía o núcleo (Tallo del problema) y por una lista de posibles respuestas o alternativas.
- Deben ofrecerse 4 ó 5 alternativas por Ítems (evitando el azar).
- Debe haber una sola respuesta correcta.

Existen dos tipos de preguntas de Selección Simple:

- **Complemento Simple:** Existe solo una posible alternativa correcta a seleccionar. Se desarrollan en torno a una idea o a un problema y constan de un enunciado y varias opciones de respuesta, usualmente cuatro. Se recomienda leer cuidadosamente el enunciado y, después de analizarlo, escoger entre las opciones la que se considera correcta (véase figura 1.3).
- **Complemento Agrupado:** Ofrece un grupo de aseveraciones y de alternativas con combinaciones de posibles respuestas reales agrupadas. Solo una alternativa es correcta. Estas preguntas constan de un enunciado y determinado número de posibles consecuencias, aplicaciones o condiciones relacionadas con el enunciado, y determinado número de opciones de respuesta, resultantes de posibles combinaciones (véase figura 1.2).

Lea atentamente las siguientes aseveraciones y seleccione debajo la alternativa correcta con una X:

1. En el Manifiesto del Moncada no se resumen las características fundamentales del movimiento 26 de Julio ni su programa político.
2. El 25 de noviembre de 1956 sale de Tuxpan, México el yate Granma.
3. El 26 de Julio no era un movimiento revolucionario sino un partido político.
4. El levantamiento del 30 de noviembre de 1956 fue muy importante aún cuando no se pudo actuar simultáneamente con el desembarco del Granma.
5. La Historia me Absolverá se convirtió en el programa político de la Revolución en su etapa inicial.

a) \_\_\_ (1, 3, 4)

b) \_\_\_ (2, 3, 5)

c) X (2, 4, 5)

d) \_\_\_ (3, 4, 5)

**Figura 1.2** Ejemplo de tipo de pregunta Selección Simple Complemento Agrupado

Marque con una X la alternativa correcta:

La Historia me Absolverá fue un importante documento redactado durante:

\_\_\_ La Guerra del 95.

\_\_\_ La Guerra del 68.

X La revolución de los años 50.

**Figura 1.3** Ejemplo de tipo de pregunta Selección Simple Complemento Simple

**Relacionar Columnas:**

Para este tipo de preguntas se deben tener en cuenta varios aspectos:

- Las preguntas de una columna deben ser homogéneas (5 o 10 ítems).
- El número de respuestas debe ser mayor al de problemas (Si es posible el doble).
- Las alternativas deben tener orden lógico.

Este tipo de preguntas suelen ser muy económicas porque permiten abordar diferentes aspectos y contenidos con un mismo formato de pregunta (véase figura 1.4).

Relacione los elementos de la columna A con la B utilizando los conocimientos adquiridos en clases.

<b>Columna A</b>	<b>Columna B</b>
1. José Martí, el héroe nacional.	<u>  3  </u> Conocido por todos los cubanos como el padre de la Patria.
2. Ernesto Guevara, el Guerrillero heroico.	<u>  4  </u> Manzanita, como lo llamaban, cae en la toma de Radio Reloj.
3. Carlos Manuel de Céspedes.	<u>  1  </u> Fue el autor intelectual del Asalto al Cuartel Moncada.
4. José Antonio Echeverría.	<u>  2  </u> Dirigió la Toma de Santa Clara y el descarrilamiento del tren Blindado.

**Figura 1.4** Ejemplo de tipo de pregunta Relacionar Columnas

**Completar con arrastre:**

Consta de un grupo de informaciones que el usuario deberá completar utilizando las posibles respuestas y arrastrándolas hasta el lugar donde deben estar. Este tipo pregunta puede ser utilizada para completar frases, ecuaciones matemáticas, entre otras. Es muy utilizado en Software Educativo de diferentes enseñanzas pero principalmente para niños (véase figura 1.5).

Complete la siguiente frase, utilizando las palabras que se ofrecen a continuación.

La \_\_\_\_\_ es la \_\_\_\_ del crecimiento y del \_\_\_\_\_, \_\_ la actividad y \_\_ viveza, de la \_\_\_\_\_ y el \_\_\_\_\_.

José Martí.

desarrollo edad de la

imaginación juventud ímpetu

**Respuesta:**

La juventud es la edad del crecimiento y del desarrollo, de la actividad y la viveza, de la imaginación y el ímpetu.

José Martí.

**Figura 1.5.** Ejemplo de tipo de pregunta Completar con arrastre

### Pantalla de Explicación:

Consiste en ofrecer al estudiante una información visual (texto o imágenes), que se relacione con el tema del ejercicio antes de responder el mismo, ofreciendo una ayuda para su solución. Este tipo de pregunta consta de un enunciado, una imagen (véase figura 1.7) o texto (véase figura 1.6) y varias preguntas que el estudiante deberá contestar.

Lea atentamente las palabras que se muestran en pantalla y conteste la siguiente pregunta:

**La libertad es el derecho que tienen las personas de actuar libremente, pensar y hablar sin hipocresía.**

Seleccione con una X a quien pertenece la frase:

- a) \_\_\_\_ Rubén Martínez Villena.
- b) \_\_\_\_ Ernesto Guevara.
- c)  José Martí.

**Figura 1.6** Ejemplo de tipo de pregunta Pantalla de Explicación. Utilizando textos

Observe con atención la imagen que se presenta a continuación y conteste la pregunta siguiente:



Marque con una X el hecho histórico que se muestra.

- a)  La Reunión de la Mejorana.
- b)  Protesta de Baraguá.
- c)  La Protesta de los Trece.

**Figura 1.7** Ejemplo de tipo de pregunta Pantalla de Explicación. Utilizando imágenes

La evaluación en un SEAI es importante, mediante esta, estudiantes y profesores pueden observar la evolución del aprendizaje. Debido a esto en el presente trabajo se hace uso de la lógica difusa en la modelación de sistemas de evaluación permitiendo una mayor naturalidad y acercándose más a la calificación real dada por un profesor. De esta forma se pretende mejorar los sistemas de evaluación empleados por algunos software educativos.

A continuación se muestran conceptos relacionados con la lógica difusa permitiendo una mayor comprensión de su utilización.

### 1.3 La evaluación basada en términos lingüísticos

Considérese un atributo que se refiere a la nota de un estudiante, y para hacer referencia a los resultados generalmente se habla de estudiantes evaluados satisfactoriamente (aprobados) y los que no obtuvieron resultados satisfactorios (desaprobados). Sea  $A$  el

conjunto de los estudiantes con “resultados satisfactorios”, que se refiere a aquellos que tienen en el atributo nota un valor igual o mayor a 60, sea  $x$  un estudiante:

$\mu_A(x) = 1$  si el estudiante tiene una nota igual o mayor que 60 (o sea pertenece al conjunto  $A$ ).

$\mu_A(x) = 0$  caso contrario.

Como se puede apreciar, de esta manera el conjunto de estudiantes “aprobados” o con “resultados satisfactorios” queda definido de forma imprecisa o vaga, porque no es lo mismo decir que tiene resultados satisfactorios un estudiante con nota de 60 puntos que aquel que obtuvo 90 puntos.

La lógica difusa es un tipo de lógica que reconoce una gama de valores más allá que simples valores de verdadero o falso. Con ella las proposiciones pueden ser representadas con grados de veracidad o falsedad. Por ejemplo, la sentencia “hoy es un día soleado”, puede ser 100% verdad si no hay nubes, 80% verdad si hay pocas nubes, 50% verdad si existe neblina y 0% si llueve todo el día. Es entonces posible con la lógica difusa gobernar un sistema por medio de reglas de “sentido común” las cuales se refieren a cantidades indefinidas.

Se define entonces la lógica difusa como un sistema matemático que modela funciones no lineales, convirtiendo las entradas en salidas acordes con los planteamientos lógicos que usan el razonamiento aproximado (Klir and B., 1995). En cierto nivel, puede ser vista como un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas en lenguaje natural a un lenguaje matemático formal. Mientras la motivación original fue ayudar a manejar aspectos imprecisos del mundo real, la práctica temprana de la lógica difusa permitió el desarrollo de aplicaciones prácticas (Morales, 2002).

El uso de conjuntos difusos es una herramienta muy útil en la representación de conocimiento para muchos dominios de aplicación, pues logran una caracterización matemática bastante acertada de términos del lenguaje natural, son métodos que no requieren grandes fuentes de datos; imponen axiomas débiles con respecto a la matemática

convencional, permiten manejar a favor del producto final la imprecisión de los datos, y tienen un significado semántico muy usado en varios dominios de aplicación.

La idea de los conjuntos difusos (Zadeh, 1965) viene de la siguiente observación: las clases de objetos en la vida diaria no tienen límites bien definidos. De allí que la fuente de imprecisión sea la ausencia de criterios definidos rigurosamente sobre la pertenencias a clases, en lugar de la presencia de variables aleatorias. La noción de conjuntos difusos es completamente de naturaleza no estadística.

**Definición** (conjunto difuso) (Zadeh, 1965): Formalmente un conjunto difuso  $A$  definido sobre un universo  $X$  es un conjunto de pares de la forma  $(x, \mu_A(x))$ , donde  $\mu_A(x)$  es llamada la función de pertenencia para el conjunto  $A$  asignando a cada elemento de  $X$  un grado de pertenencia en el intervalo  $[0,1]$ . Al conjunto  $X$  se le llama universo de discurso y puede ser un espacio discreto o continuo.

Los conjuntos difusos se obtienen al hacer corresponder una variable numerable (continua o discreta) con una variable lingüística (Zadeh, 1975). Son aplicables para modelar características tales como: la vaguedad, la incertidumbre lingüística, la imprecisión de las medidas y subjetividad (Zadeh, 1983).

En 1994, esta teoría se encontraba en la cumbre, pero esta idea no era nueva, para muchos, estuvo bajo el nombre de lógica difusa durante 25 años, pero sus orígenes se remontan hasta 2,500 años. Aún Aristóteles consideraba que existían ciertos grados de veracidad y falsedad (Escrig, 2007). Platón había considerado ya grados de pertenencia. La idea de que la lógica produce contradicciones fue popularizada por el filósofo y matemático británico Bertrand Russell, a principios del siglo XX. Estudió las vaguedades del lenguaje, concluyendo con precisión que la vaguedad es un grado. El filósofo austríaco Ludwig Wittgenstein estudió las formas en las que una palabra puede ser empleada para muchas cosas que tienen algo en común. La primera lógica de vaguedades fue desarrollada en 1920 por el filósofo Jan Lukasiewicz, visualizó los conjuntos con un posible grado de pertenencia con valores de 0 y 1, después los extendió a un número infinito de valores entre 0 y 1 (Trillas et al., 1995).

La lógica difusa se fundamenta en el concepto de conjunto difuso. En general los conjuntos introducen una noción de dicotomía, que en esencia es una clasificación binaria: o se acepta o se rechaza la pertenencia de un objeto a una categoría determinada. Esta decisión de aceptar o rechazar se expresa mediante una función característica, según las propiedades que posean los objetos del conjunto. La teoría de conjunto difuso suaviza el requerimiento anterior y admite valores intermedios en la función característica, que se denomina función de pertenencia. Esto permite una interpretación más realista de la información, puesto que la mayoría de las categorías que describen los objetos del mundo real, no tienen unos límites claros y bien definidos.

### **Funciones de pertenencia**

La lógica difusa tiene mucho que ver con la precisión. Surge la necesidad de expresar estas ideas en el campo de la técnica de alguna manera sencilla y fácil de manipular. Esta se propone como una herramienta para salvar estas ambigüedades. Obviamente no es la única manera, pero sí la más simple. Así se pueden mencionarse algunas de sus ventajas (Ruíz, 2001):

- Es fácil de entender conceptualmente. Los conceptos matemáticos detrás de ésta son muy simples.
- Se basa en el lenguaje natural. Lo que la hace atractiva es la naturalidad con la que se pueden expresar problemas de cierta complejidad.
- Es flexible. Una vez diseñado un algoritmo difuso es fácil cambiar las reglas de comportamiento.
- Los datos pueden ser imprecisos y sin embargo, el sistema funcionar igualmente.
- Se pueden modelar sistemas no-lineales de complejidad arbitraria.
- El sistema difuso puede ser construido en base a la experiencia de expertos. Esto es una gran ventaja si lo comparamos con las redes neuronales donde la red entrenada es como una caja negra, en problemas complejos.
- Puede combinarse con técnicas de control convencionales.

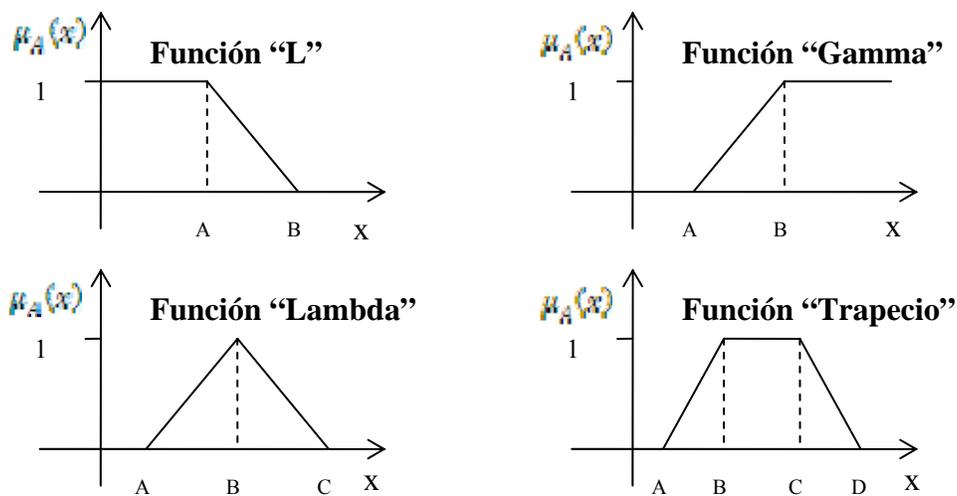
Aunque en principio cualquier función sería válida para definir conjuntos difusos, en la práctica hay ciertas funciones típicas que siempre se suelen usar (véase figura 1.8), tanto

por la facilidad de computación que su uso conlleva como por su estructura lógica para definir su valor lingüístico asociado.

En general, existen tres clases importantes de curvas “campana” PI, Beta y Gaussianos. La diferencia entre los tres tipos de curvas está dada por la pendiente de la curva así como por los valores de los puntos finales de la curva (Zadeh, 1994).

El espacio difuso puede ser definido en el caso de las curvas PI, o ser infinito, en el caso de las curvas Beta y Gaussianas. La anchura y la pendiente de las curvas campanas indican el grado de compactación asociado con el número difuso.

Las funciones “L” y “Gamma” se usan para calificar valores lingüísticos extremos, tales como “Helado” o “Ardiendo”, respectivamente. Su ventaja es que la función se extiende al infinito. Las funciones “Trapecio” y “Lambda” se usan para describir valores intermedios. Su diferencia reside en que la función “Trapecio” implica un margen de tolerancia alrededor del valor que se toma como más representativo del valor lingüístico asociado al conjunto difuso.



**Figura 1.8** Funciones de pertenencia usuales

**Las curvas PI:** Una curva PI es la preferida y se toma como representación de números difusos. Esta provee un gradiente descendiente suave desde el valor central hasta los puntos

de pertenencia cero a lo largo del dominio. La curva PI simétrica es centrada en un único valor del dominio ( $x$ ) con un único parámetro que indica el ancho de la base de la curva ( $\beta$ ). El valor de la curva para los puntos  $x$  del dominio esta dada por la expresión siguiente.

$$\Pi(x; \beta; \gamma) = \begin{cases} S(x; \gamma - \beta, \gamma - \beta / 2, \gamma) & \longrightarrow x \leq \gamma \\ 1 - S(x; \gamma + \beta / 2, \gamma + \beta) & \longrightarrow x > \gamma \end{cases}$$

Los puntos de inflexión son automáticamente determinados. Las curvas PI tienen una característica importante: su valor de pertenencia se hace cero en un punto discreto y específico, y no son asintóticas (Buckley and Eslami, 2002).

**Las curvas Beta:** La curva Beta es una curva con forma de campana más estrecha que la curva PI. Los conjuntos difusos Beta son definidos, como la curva PI, con dos parámetros: el único valor del dominio alrededor del cual la curva es construida ( $\gamma$ ) y un valor que indica la mitad del ancho de la curva en el punto de inflexión ( $\beta$ ). Los valores de la curva para los puntos  $x$  del dominio están dados por la expresión:

$$B(x; \gamma, \beta) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - \gamma}{\beta}\right)^2}$$

La curva producida desde esta fórmula se parece a la curva PI con una principal diferencia, el grado de la función de pertenencia va hasta cero solo en los valores extremadamente grandes de Beta ( $\beta$ ); esto es, a infinito. La función de la curva Beta es mucho más directa que el generador de la curva PI. Se encuentra un espacio del dominio y entonces para cada punto a lo largo de la curva Beta después de calcular un valor del dominio en la  $i$ -ésima posición del arreglo de pertenencias y localizar su distancia del centro de la curva, se genera un grado de pertenencia resolviéndose la función logística Beta (Buckley and Eslami, 2002).

**Las curvas Gaussianas:** La curva Gaussiana o exponencial es un método menos popular de representar números difusos. La curva Gaussiana es definida, como la curva PI, con dos parámetros: el valor único del dominio alrededor del cual la curva es construida ( $\gamma$ ) y un

valor que indica la anchura de la forma de la campana de la curva ( $k$ ). El valor de la curva para un valor  $x$  del dominio, está dado por la expresión:

$$G(x; k, \gamma) = e^{-k(\gamma-x)^2}$$

La curva producida desde su fórmula se parece a la curva Beta con una diferencia la pendiente de la función de pertenencia va hasta cero muy rápidamente. Hay que tener en cuenta que la curva Gaussiana tiene alguna de las propiedades de las curvas PI. Naturalmente el parámetro de anchura ( $k$ ) juega un rol crítico en la forma y alcance del conjunto difuso. El mayor de los valores para  $k$ , hace la curva más ancha y viceversa. La inhabilidad de predecir exactamente la forma completa de la curva de campana resultante para un valor particular de  $K$  hace que se dificulte el uso de la función Gaussiana (Buckley and Eslami, 2002).

**Funciones de pertenencia triangulares:** Existen algunos campos donde los conjuntos difusos se representan con funciones triangulares. Los conjuntos difusos triangulares, semejantes a las curvas PI y Beta, representan valores de pertenencia. Su centro es la punta del triángulo, ahí está la máxima pertenencia. Las aristas izquierda y derecha de la región difusa especifican un descenso lineal desde el centro hasta los puntos donde la pertenencia es cero.

La expresión de esta función está dada por ecuación:

$$Triángulo(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & c \leq x \end{cases}$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son los vértices del triángulo ( $a < b < c$ ) (Buckley and Eslami, 2002).

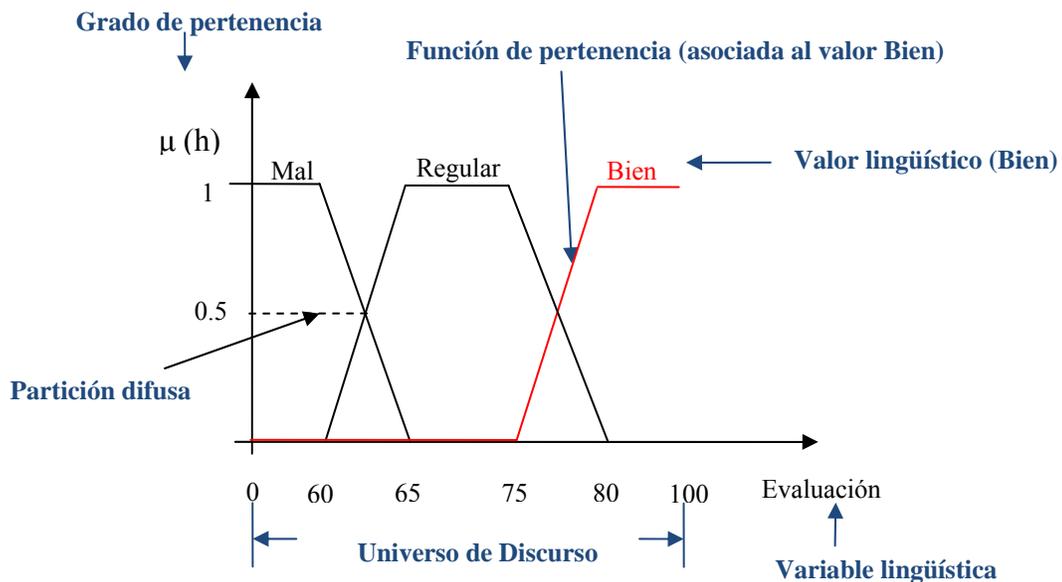
**Funciones de pertenencia trapezoidales:** La función de pertenencia trapezoidal es especificada por cuatro parámetros  $\{a, b, c, d\}$ , donde  $a < b < c < d$ . Note que esta función

se reduce a la función triangular cuando  $b$  es igual a  $c$  (Buckley and Eslami, 2002). Observe la expresión:

$$\text{Trapezio}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & d \leq x \end{cases}$$

A modo de resumen se presenta el gráfico de la figura 1.10 que muestra los conceptos relacionados con la lógica difusa. En esta figura aparecen tres conjuntos difusos sobre la variable lingüística (Zadeh, 1975) evaluación, cuyos valores lingüísticos asociados son “Mal”, “Regular” y “Bien” respectivamente. Además debe tenerse en cuenta que para la construcción de las funciones de pertenencias se debe realizar considerando el criterio de Suma-Cero (partición difusa).

**Definición** (Partición difusa, según Ruspini en 1969) (Thiele, 1997). Una partición difusa algebraica sobre  $P_{U^f}$  es una familia finita  $\{B_l\}_{l \in I}$  en  $\mathcal{F}$  que satisface las propiedades siguientes:  $\forall x_{U^f} \in P_{U^f}, \sum B_l(x_{U^f}) = 1$  y  $B_l \neq \emptyset$ , para todo  $l \in I$ .



**Figura 1.10** Conceptos de lógica difusa

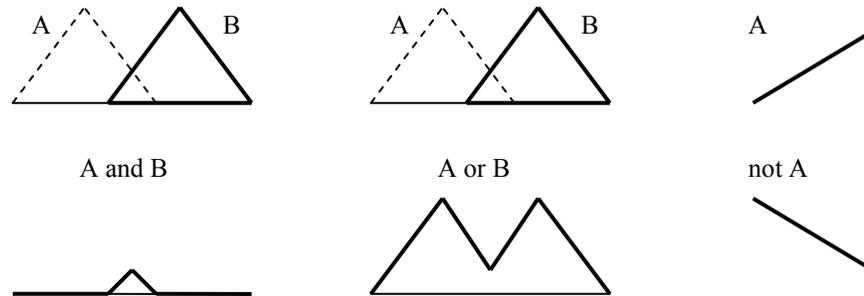
## 1.4 Otros aspectos de la lógica difusa

En este trabajo se propone el uso de la lógica difusa para modelar un sistema de evaluación para los tópicos y preguntas que conforman un SEAI. Debe tenerse en cuenta que la evaluación de una examen cualquiera es única, aunque el profesor ofrezca una calificación parcial a cada una de las preguntas finalmente el estudiante obtiene la general, que sería la combinación de todas las calificaciones parciales, estas son difusas, entonces se necesitan operadores difusos que las puedan combinar para que el resultado siga siendo difuso y único. Es por ello que se introduce la definición de operadores de agregación, relaciones binarias difusas y Sistemas de inferencias Difusos estos serán de gran ayuda en la obtención de una evaluación final.

### 1.4.1 Operadores de Agregación

Las operaciones lógicas que se pueden establecer entre conjuntos difusos son la intersección, la unión y el complemento (véase figura 1.11), igual que las que se usan en lógica booleana. Mientras que el resultado de operar dos conjuntos “abruptos” es un nuevo

conjunto “abrupto”, las mismas operaciones con conjuntos difusos darán como resultado otros conjuntos también difusos. Dado que la lógica difusa es una extensión de la booleana, las nuevas operaciones que se explican para interceptar o unir conjuntos difusos es también aplicable a la lógica booleana obteniendo idénticos resultados (Butnario and Klement, 1993).



**Figura 1.11** Actuación de los operadores and, or y not según la lógica difusa

En lógica difusa hay muchas maneras de definir estas operaciones. Cualquier operación que cumpla las restricciones de una t-norma puede ser usada para interceptar, igual que cualquier t-conorma puede ser usada para unir conjuntos difusos. Las t-normas especifican un conjunto de condiciones que deben reunir aquellas operaciones que deseen ser usadas para interceptar conjuntos, mientras que las t-conormas hacen lo propio para las uniones.

**Definición** (Norma Triangular, t-norma) (Klement et al., 2000):

Operación binaria  $t: [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$  que cumple las siguientes propiedades

$\forall x, y, w, z \in [0,1]$ :

- Conmutativa:  $x t y = y t x$
- Asociativa:  $x t (y t z) = (x t y) t z$
- Monotonía: Si  $x \leq y, y w \leq z$  entonces  $x t w \leq y t z$
- Condiciones Frontera:  $x t 0 = 0, x t 1 = x$

Existen muchas funciones que cumplen estas propiedades y que por lo tanto pueden ser utilizadas para representar la intersección entre conjuntos difusos. Algunas de ellas son las siguientes:

Mínimo  $a \text{ t } b = \min(a, b)$

Producto algebraico  $a \text{ t } b = a \cdot b$

Lukasiewicz (Diferencia acotada)  $a \text{ t } b = \max(0, a + b - 1)$

Producto drástico  $a \text{ t } b = \begin{cases} \min(a, b) & \text{si } \max(a, b) = 1 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$

En ocasiones es necesario restringir la posible t-norma considerando tres requerimientos adicionales (Butnario and Klement, 1993):

Continuidad:  $t$  es una función continua

Subidempotencia:  $a \text{ t } a < a$

Monotonía estricta: Si  $a < b$  y  $c < d$  entonces  $a \text{ t } c < b \text{ t } d$

**Definición** (Conorma Triangular, t-conorma o s-norma) (Klement et al., 2000):

Operación binaria.  $s: [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$  que cumple las siguientes propiedades

$\forall x, y, w, z \in [0,1]$

- Conmutativa:  $x \text{ s } y = y \text{ s } x$
- Asociativa:  $x \text{ s } (y \text{ s } z) = (x \text{ s } y) \text{ s } z$
- Monotonía: Si  $x \leq y, y \text{ w } \leq z$  entonces  $x \text{ s } w \leq y \text{ s } z$
- Condiciones Frontera:  $x \text{ s } 0 = x, x \text{ s } 1 = 1$

Al igual que en el caso anterior, existe una gran número de funciones que cumplen estas propiedades y que pueden ser utilizadas para representar la unión. Algunos ejemplos son:

Máximo  $a \text{ s } b = \max(a, b)$

Suma algebraica  $a \text{ s } b = a + b - a \cdot b$

Lukasiewicz (Suma acotada)  $a \text{ s } b = \min(1, a + b)$

Suma drástica  $a \text{ s } b = \begin{cases} \max(a, b) & \text{si } \min(a, b) = 0 \\ 1 & \text{en otro caso} \end{cases}$

Algunas veces es necesario restringir la posible t-conorma considerando tres requerimientos adicionales (Butnario and Klement, 1993), que tenga en cuenta casos especiales, tal y como se hizo para la t-norma:

Continuidad:  $s$  es una función continua

Subidempotencia:  $a \text{ s } a > a$

Monotonía estricta: Si  $a < b$  y  $c < d$  entonces  $a \text{ s } c < b \text{ s } d$

### 1.4.2 Relaciones Binarias Difusas

Una relación difusa representa el grado de presencia o ausencia de asociación, interacción o interconexión entre elementos de dos o más conjuntos difusos, por ejemplo: “ $x$  es mayor que  $y$ ”. Se supone que  $U$  y  $V$  son dos universos de discurso, la relación difusa  $R(U, V)$  es un conjunto difuso en el espacio producto  $U \times V$  que se caracteriza por la función de pertenencia  $\mu_R(x, y)$  donde  $x$  pertenece a  $U$  e  $y$  pertenece a  $V$ , es decir:

$$R(U, V) = \{((x, y), \mu_R(x, y)) \mid (x, y) \in U \times V\}$$

En el caso de las relaciones difusas son en si mismas un conjunto difuso en el espacio producto, las operaciones entre conjuntos y los operadores también pueden ser aplicadas a ellas. Se supone  $R(x, y)$  y  $S(x, y)$  dos relaciones en el mismo espacio producto  $U \times V$ . La intersección o unión entre  $R$  y  $S$ , que son composiciones entre las dos relaciones, se definen como:

$$\mu_{R \cap S}(x, y) = \mu_R(x, y) * \mu_S(x, y)$$

$$\mu_{R \cup S}(x, y) = \mu_R(x, y) \oplus \mu_S(x, y)$$

Donde  $*$  es cualquier t-norma y  $\oplus$  es cualquier t-conorma.

Si se consideran las relaciones difusas  $R$  y  $S$  que pertenecen a diferentes espacios producto  $R(U, V)$  y  $S(V, W)$ , por ejemplo “ $x$  es mayor que  $y$ ” y “ $y$  es cercano a  $z$ ”, su composición difusa se define de la forma análoga a la composición clásica teniendo en cuenta que en el caso difuso la relación difusa  $R$  tiene asociada una función de pertenencia  $\mu_R(x, y)$  que toma valores en el intervalo  $[0, 1]$  y la relación difusa  $S$  también tiene asociada una función de pertenencia  $\mu_S(y, z)$  que de igual forma toma valores en el intervalo  $[0, 1]$ . Entonces la composición difusa entre  $R$  y  $S$ , es decir  $R \circ S$ , cuando  $R$  y  $S$  pertenecen a universos discretos de discurso, se define como una relación difusa en  $U \times W$  cuya función de pertenencia viene dada por.

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \sup[\mu_R(x, y) * \mu_S(y, z)] \quad y \in V$$

donde el operador sup es el máximo y el operador  $*$  puede ser cualquier t-norma. En función de la t-norma elegida podemos obtener distintas composiciones; las dos composiciones más usadas son la composición max-min y la composición max-prod.

La composición max-min de las relaciones difusas  $R(U, V)$  y  $S(V, W)$ , es una relación difusa  $R \circ S$  en  $U \times W$  definida por la función de pertenencia:

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \max \min[\mu_R(x, y), \mu_S(y, z)]$$

Donde  $(x, y) \in U \times W$

La composición max-prod de las relaciones difusas  $R(U, V)$  y  $S(V, W)$ , es una relación difusa  $R \circ S$  en  $U \times W$  definida por la función de pertenencia:

$$\mu_{R \circ S}(x, z) = \max[\mu_R(x, y) \cdot \mu_S(y, z)] \quad y \in V$$

Donde  $(x, z) \in U \times W$

El procedimiento de inferencia que deriva conclusiones a partir de un conjunto de reglas difusas y hechos conocidos, también conocido como Modus Ponens generalizado, es una extensión de la ley del Modus Ponens de la lógica tradicional; al cual se refiere la definición siguiente:

**Definición** (razonamiento aproximado) (Jang and Sun, 1997): Sean  $A$ ,  $A'$  y  $B$  conjuntos difusos sobre  $X$ ,  $X$  y  $Y$  respectivamente. Se asume que una relación de implicación  $A \Rightarrow B$  se expresa como una relación binaria difusa  $R$  sobre  $X \times Y$  que cuantifica en qué medida  $A$  implica  $B$ . El conjunto difuso  $B'$  inducido por “ $x$  es  $A$ ” y la regla difusa “if  $x$  es  $A$  entonces  $y$  es  $B$ ” se define por una relación de composición según

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \Rightarrow B)$$

Otros ejemplos comunes de las relaciones binarias difusas son las siguientes:

$x$  está cerca de  $y$  ( $x$  e  $y$  son números)

$x$  depende de  $y$  ( $x$  e  $y$  son eventos)

$x$  e  $y$  similares ( $x$  e  $y$  son las personas, objetos, etc)

### 1.4.3 Sistema de Inferencia Difuso

Un sistema de inferencia Difuso (SID) es un sistema computacional basado en los conceptos de la teoría de conjuntos difusos, reglas If-Then difusas y razonamiento difuso.

La estructura básica de un SID consiste de tres componentes:

- Una base de reglas difusas
- Una base de datos (la cual contiene las funciones de pertenencia usadas)

- Un mecanismo de razonamiento el cual ejecuta el procedimiento de inferencia.

Las entradas y salidas pueden ser valores duros o difusos. Cuando la salida es difusa y se necesita el valor duro, se emplea un método de defuzificación (defuzzyfication) que determina el valor duro que mejor representa un conjunto difuso.

Algunos de los métodos que se pueden emplear son:

Centroide del área: La técnica del centroide o centro de gravedad encuentra el punto “balance” de la región difusa solución calculando la media pesada de esa región difusa.

Medio de máximos: es el promedio de los valores del universo de discurso donde se alcanza el máximo grado de pertenencia.

Más pequeño de máximos: es el valor menor del universo de discurso con el cual se alcanza el máximo grado de pertenencia.

Más grande de máximos: es el valor mayor del universo de discurso con el cual se alcanza el máximo grado de pertenencia.

A diferencia de la técnica del centroide, la de los máximos tiene algunos atributos que la hacen generalmente aplicable a determinadas clases de problemas. Entre ellas: el valor defuzificado es sensitivo a que una sola regla domine el conjunto de reglas; y el valor tiende a variar significativamente cuando cambia la región de difusa.

## **1.5 Conclusiones parciales**

A partir de la consulta realizada a la bibliografía y la experiencia del Grupo de Informática Educativa del Centro de Estudio de Informática de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas se pueden arribar a las siguientes conclusiones:

- La Enseñanza Asistida por Computadoras ha repercutido de forma extraordinaria en la sociedad, revolucionando los métodos tradicionales de enseñanza y elevando la calidad del proceso de formación del hombre.
- El uso de las técnicas de Inteligencia Artificial han facilitado el desarrollo cualitativo del Software Educativo, añadiéndole a los mismos la capacidad de adaptación al estudiante en una sesión de aprendizaje.

- Mediante la lógica difusa se logra mayor naturalidad y flexibilidad en la modelación del sistema de evaluación de los SEAI.

## **CAPÍTULO II. EDITOR DE PREGUNTAS CON EVALUACIÓN DIFUSA PARA SISTEMAS DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE INTELIGENTES**

En el presente capítulo se abordan los aspectos relacionados con la modelación implementación de un sistema computacional para la edición de preguntas que puede ser incorporado a Sistemas de Enseñanza-Aprendizaje Inteligentes. En su concepción se emplea la lógica difusa para acercar más este proceso de evaluación a como lo haría un experto humano.

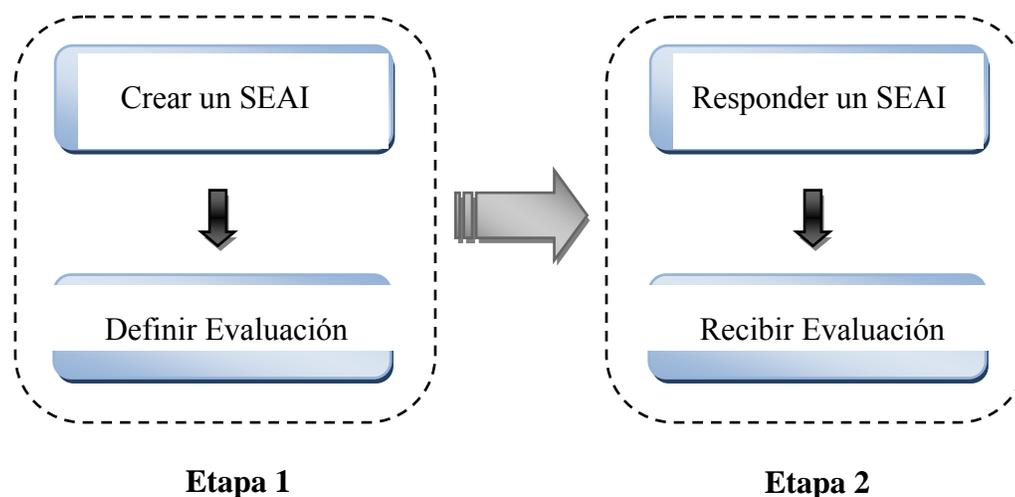
### **2.1 Editor de Preguntas para un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente.**

Para elaborar un SEAI es necesario diseñar e implementar preguntas que permitan captar el estado cognitivo de un estudiante. Si bien todo profesor es capaz de concebir preguntas, aquellos que no son especialistas en computación probablemente no lograrán implementarlas en un sistema computacional. Para facilitar el trabajo de los profesores y ofrecerles la oportunidad a todos por igual de elaborar un SEAI, surge entonces la idea de confeccionar un editor con el objetivo de confeccionar los tópicos y preguntas que formarán parte de un SEAI.

El sistema implementado EPED realiza una evaluación de forma automática de las respuestas dadas a los tópicos y las preguntas que forman parte del SEAI, haciendo uso de técnicas de Inteligencia Artificial. El editor ofrece la facilidad de que el profesor pueda seleccionar o confeccionar su propio sistema de evaluación. Con esta idea se persigue lograr una mayor flexibilidad en la evaluación dada al estudiante. Es importante señalar que EPED asume que la evaluación primaria, es decir, la evaluación de los incisos que componen una pregunta sea dicotómica.

EPED está estructurado en dos etapas fundamentales, en la primera etapa se editan los tópicos y las preguntas y se selecciona o elabora el sistema de evaluación que se utilizará en el mismo. En la segunda se le da respuesta al sistema confeccionado en la etapa anterior y

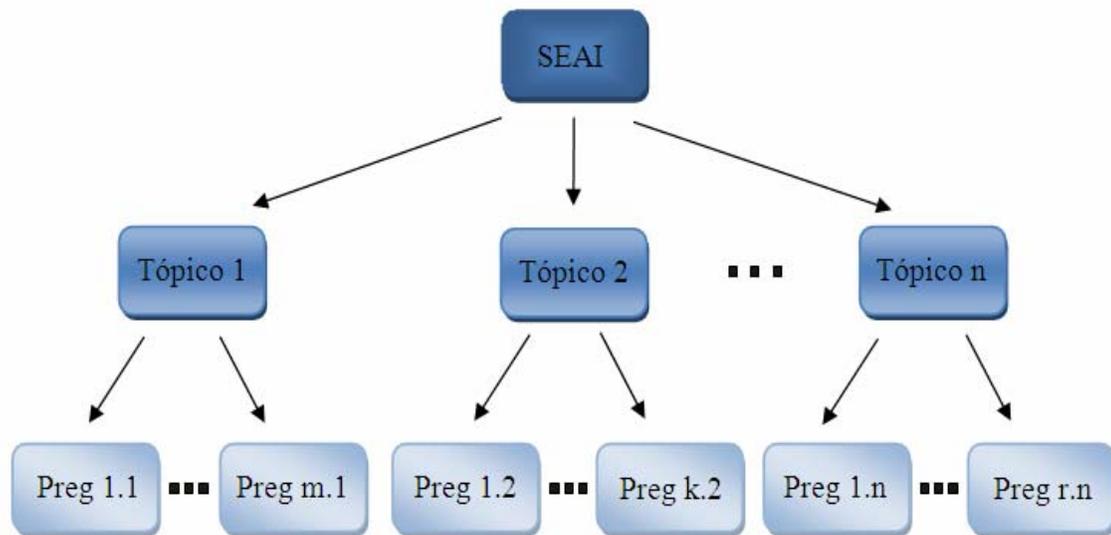
se ofrece una evaluación acorde a los resultados obtenidos. A continuación se muestran las etapas de EPED (véase figura 2.1).



**Figura 2.1** Etapas de EPED

### 2.1.1 Generalidades de EPED

Se ha implementado un editor de preguntas que facilita la confección de las mismas de forma dinámica. El profesor puede elaborar preguntas pertenecientes a un tópico determinado; el SEAI contará con la cantidad de tópicos y preguntas que el profesor disponga (véase figura 2.2). Antes de editarlas se nombra el SEAI al cual se le van a incorporar los tópicos y las preguntas; y posteriormente los tópicos a los cuales se les añaden las preguntas editadas. Estas preguntas pueden ser de diferentes tipos que deberán seleccionarse antes de editarlas. Se define las categorías y la clave con la que se evaluará el contenido editado en el sistema. Toda esta información será almacenada en un fichero XML ya que el estudiante, al abrir un SEAI, deberá responder las preguntas editadas anteriormente por el profesor.



**Figura 2.2** Estructura de un SEAI

EPED permite el trabajo sobre cinco tipos de preguntas, aunque en su diseño e implementación está concebida la futura incorporación de otros tipos de preguntas para ofrecer una mayor variedad:

- Verdadero o Falso.
- Selección Simple Complemento Simple.
- Selección Simple Complemento Agrupado.
- Relacionar Columnas.
- Pantalla de Explicación.

Luego que el profesor edite las preguntas, estas quedan almacenadas. Se guardará también la solución correcta que el profesor ofrezca, para cuando el estudiante responda se pueda chequear la validez y evaluar las mismas. Puede observarse una secuencia de trabajo más detallada del editor donde el profesor editará las preguntas que evaluarán al estudiante en el SEAI (véase figura 2.3).

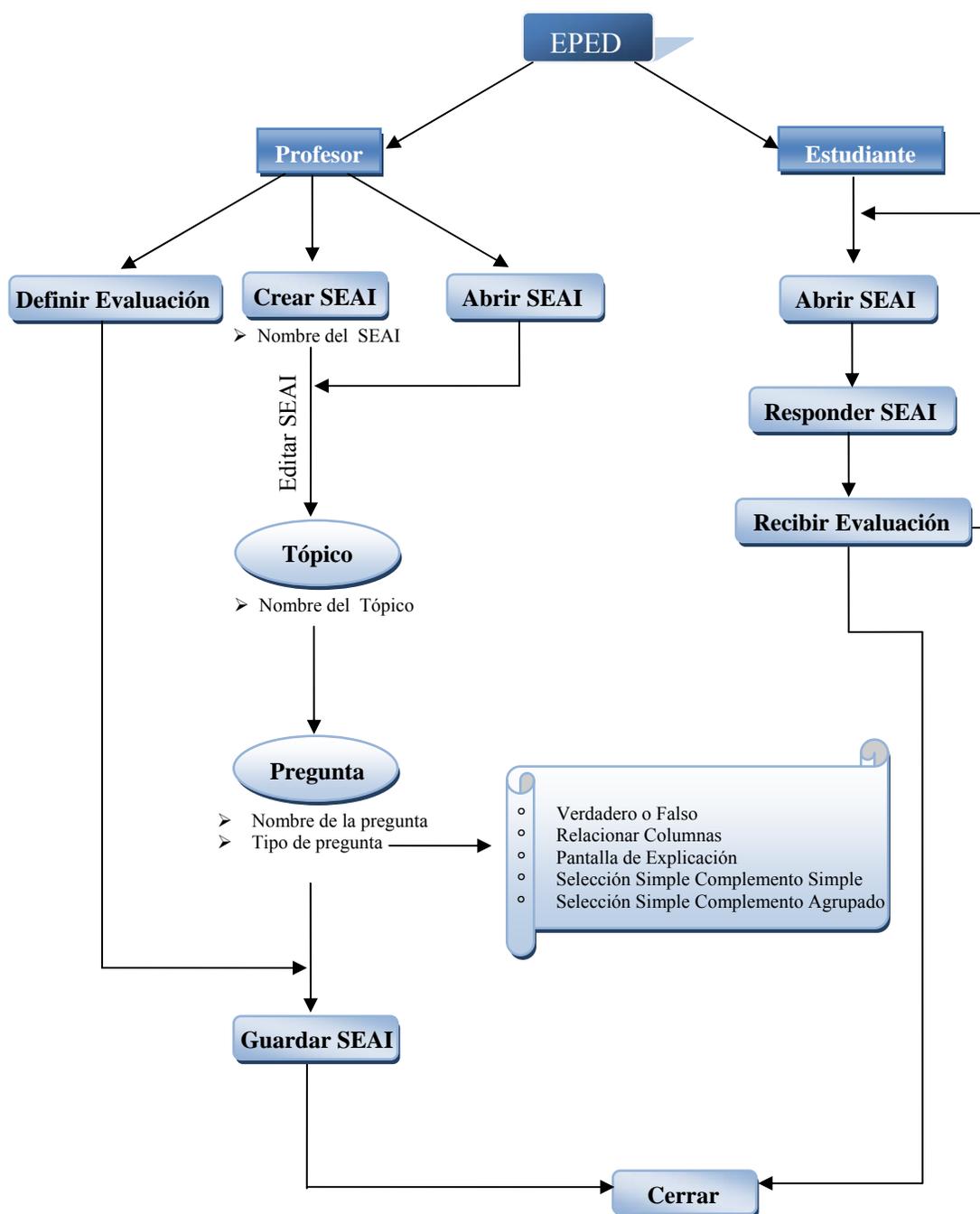
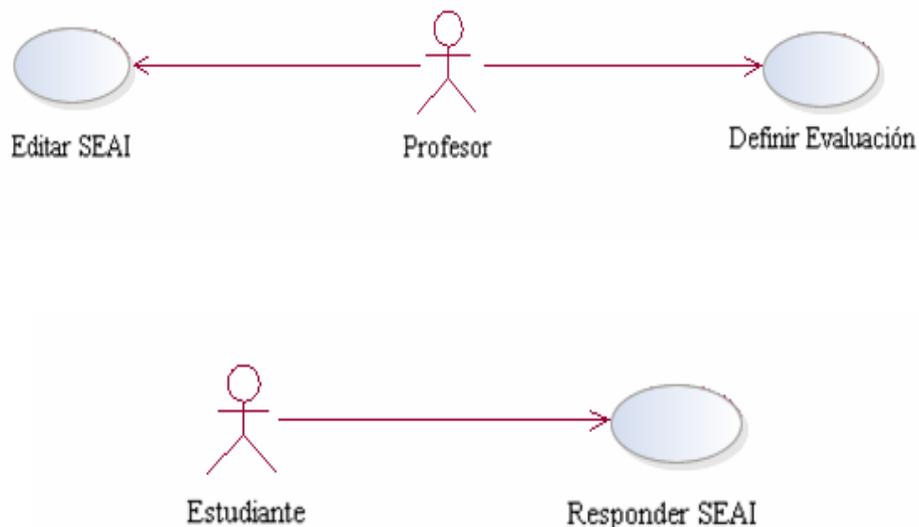


Figura 2.3 Secuencia de trabajo detallada de EPED

### 2.1.2 Casos de uso del sistema

EPED está diseñado para ser empleado por dos tipos de usuarios. Estos son, el profesor, encargado de confeccionar las preguntas del sistema de enseñanza, y el estudiante, que va a ser evaluado por la herramienta con el fin de medir sus conocimientos y ofrecerle al profesor una visión del estado docente del mismo. En este sub-epígrafe se hace una breve descripción de los casos de uso del sistema.

Las acciones que pueden ser realizadas por los usuarios del sistema se describen en el diagrama de Casos de Uso del Sistema (véase figura 2.4). Como puede apreciarse el profesor realiza todos los casos de uso relacionados con la confección de los tópicos y las preguntas que se pueden incorporar al SEAI mientras que el estudiante sólo contesta las preguntas que contenga el SEAI seleccionado.



**Figura 2.4** Diagrama de Casos de Uso del Sistema

El profesor tiene la posibilidad de crear preguntas para ser incorporadas a un SEAI o editar preguntas ya confeccionadas en un sistema de enseñanza creado anteriormente. Las preguntas están compuestas por el nombre de la pregunta, tipo, enunciados e incisos. El profesor puede diseñar un sistema de evaluación o seleccionar uno ya confeccionado. Esta

posibilidad ofrece una flexibilidad en la evaluación haciéndola lo más cercana posible a la evaluación dada por un profesor real.

El Anexo#1 muestra un Diagrama de clases donde se puede observar la relación existente entre las clases del Sistema.

### **2.1.3 Implementación computacional del editor**

Haciendo uso de las facilidades que ofrece el ambiente de programación, se utilizó la componente TreeView la cual muestra de forma arbolescente la estructura de los tópicos y preguntas editados en EPED logrando una mayor organización y visualización de los mismos (véase figura 3.4). Se diseñaron las clases que se muestran el Anexo #1 para el almacenamiento de la información de las preguntas editadas por el profesor.

Se implementó la clase *TMi\_L\_Controles* para facilitar la visualización en tiempo de ejecución de los incisos que conforman las preguntas (véase Anexo #2).

### **Uso de XML para almacenar la configuración de un SEAI**

XML (Extensible Markup Language) es un lenguaje de Marcas, estos no son equivalentes a los lenguajes de programación aunque se definan igualmente como “lenguajes”. Son sistemas complejos de descripción de información, normalmente documentos, que se pueden controlar desde cualquier editor ASCII. Las Marcas más utilizadas suelen describirse por textos descriptivos encerrados entre signos de “menor” (<) y “mayor” (>), siendo lo más usual que existan una marca de principio y otra de final (Álvarez, 2002).

La tecnología XML busca dar solución al problema de expresar información estructurada de la forma más abstracta y reutilizable posible. Que la información sea estructurada quiere decir que se compone de partes bien definidas, y que esas partes se componen a su vez de otras partes. Entonces se tiene un árbol de segmentos de información. Ejemplo: un SEAI se compone de tópicos que a su vez están formados por preguntas. Estas partes se llaman elementos, y se señalan mediante etiquetas (Tag). Una etiqueta consiste en una marca hecha en el documento, que señala una porción de este como un elemento. Las etiquetas tienen la forma < nombre >, que es el nombre del elemento que se está señalando.

Los documentos han de seguir una estructura estrictamente jerárquica con lo que respecta a las etiquetas que delimitan sus elementos. Una etiqueta debe estar correctamente incluida en otra, es decir, las etiquetas deben estar correctamente anidadas. Los elementos con contenido deben estar correctamente cerrados. Los documentos XML sólo permiten un elemento raíz del que todos los demás sean parte, es decir, sólo pueden tener un elemento inicial. Los valores atributos en XML siempre deben estar encerrados entre comillas simples o dobles.

Es necesario asignar nombres a las estructuras, tipos de elementos, entidades, elementos particulares, etc. En XML los nombres tienen alguna característica en común. Las construcciones como etiquetas, referencias de entidad y declaraciones; son partes del documento que el procesador XML espera entender. El resto del documento entre Marcas son los datos “entendibles” por las personas.

Debido a las facilidades y bondades que presenta este tipo de ficheros, se decidió utilizar para almacenar la información introducida por el profesor. La figura 2.6 presenta el formato de un fichero XML generado por EPED, el cual cuenta con características específicas.

El Tab principal se identifica con el nombre “SEAI”, el cual consta de un atributo nombre que será el nombre del SEAI que se está almacenando. Este Tab esta compuesto por tantos “Topico” contenga el SEAI desarrollado por el profesor y por último un Tab “DEvaluacion”. Cada Tab “Topico” tiene un atributo nombre, que es el nombre del tópico y puede contener cinco tipos de Tab diferentes, “VoF”, “Relacionar”, “Pantalla”, “S\_Simple”, “S\_Multiple”; todos estos corresponden a las preguntas predefinidas en el SEAI, y presentan un atributo nombre y un atributo enunciado, que representan el nombre de la pregunta y el enunciado respectivamente. Los Tab de los diferentes tipos de pregunta cuentan con características diferentes que se especifican a continuación:

Tab “VoF” cuenta con cuantos Tab “Inciso” defina el profesor para la pregunta, en el cual se almacenará el texto del inciso elaborado por el profesor y la evaluación del mismo en el atributo “evaluacion”.

Tab “Relacionar” contiene un Tab “IncisoCA” y un Tab “IncisoCB”, donde se guarda la información referente a cada inciso dependiendo de la columna a la pertenezca; el Tab “IncisoCB” contiene un atributo “evaluacion” ya que son esos incisos los de la segunda columna a los cuales se les da una respuesta. El “\*” representa que el inciso no se respondió.

Tab “Pantalla” cuenta con cuantos Tab “Inciso” fueron editados, además de un Tab “Imagen” con un atributo “direccion” con la dirección donde se encuentra la imagen en caso de que se haya elegido tipo de pantalla imagen, si se eligiera tipo de pantalla texto existe entonces un Tab “Texto” con un atributo “direccion” que contiene la dirección del texto si se buscó dicho texto, como existe la posibilidad de editar el texto, en tal caso este atributo quedaría vacío y en el cuerpo del Tab “Texto” se almacenaría el texto editado.

Tab “S\_Simple” cuenta con Tab “Inciso” de igual forma que para el Tab “VoF”, con la única diferencia que el atributo “evaluacion” tiene valores True o False.

Tab “S\_Multiple” cuenta con cuantos Tab “Aseveracion” y Tab “Inciso” defina el profesor para esta pregunta, en el cual se almacenará el texto de la aseveración y del inciso respectivamente, este último es quien tiene el atributo “evaluacion”.

Tab “DEvaluacion” consta de dos atributos: min y max, en los cuales se almacenará el rango de evaluaciones que el profesor defina (universo de discurso). Este Tab está compuesto por tantos Tab “Evaluacion” contenga el sistema de evaluación definido por el profesor anteriormente, a su vez este Tab “Evaluacion” tiene también un atributo min y un atributo max que en este caso es el rango de la categoría que el profesor definió. Además el Tab “DEvaluacion” cuenta con tantos Tab “Regla” como claves se definieron, tiene un atributo “Consecuente” que es la evaluación final dada por el profesor en la clave que se está almacenando; el texto del mismo se almacenará la evaluación definida por el profesor (antecedentes de las reglas difusas) para cada tópico, separando por “\*” la evaluación de un tópico y otro.

```

- <SEAI nombre="Nombre del sistema">
- <Topico nombre="Tópico 1">
- <VoF nombre="Pregunta 1" enunciado="enunciado">
  <Inciso evaluacion="F">Inciso a</Inciso>
  <Inciso evaluacion="V">Inciso B</Inciso>
</VoF>
- <Relacionar nombre="Pregunta 2" enunciado="enunciado">
  <IncisoCA >Inciso 1</IncisoCA>
  <IncisoCB evaluacion="*">Inciso a</IncisoCB>
  <IncisoCB evaluacion="1">Inciso b</IncisoCB>
</Relacionar>
</Topico>
- <Topico nombre="Tópico 2">
- <Pantalla nombre="Pregunta 1" enunciado="enunciado">
  <Inciso evaluacion="True">Inciso a</Inciso>
  <Inciso evaluacion="False">Inciso b</Inciso>
  <Texto direccion="">Texto editado</Texto>
</Pantalla>
- <S_Simple nombre="Pregunta 2" enunciado="enunciado">
  <Inciso evaluacion="True">Inciso a</Inciso>
  <Inciso evaluacion="False">Inciso b</Inciso>
</S_Simple>
- <S_Multiple nombre="Pregunta 3" enunciado="enunciado">
  <Aseveracion >Aseveración 1</Aseveracion>
  <Aseveracion >Aseveración 2</Aseveracion>
  <Aseveracion >Aseveración 3</Aseveracion>
  <Inciso evaluacion="True">(1. 2.)</Inciso>
  <Inciso evaluacion="False">(2. 3.)</Inciso>
</S_Multiple>
</Topico>
- <DEvaluacion min="0" max="100">
  <Evaluacion min="80" max="100">Bien</Evaluacion>
  <Evaluacion min="60" max="80">Regular</Evaluacion>
  <Evaluacion min="0" max="60">Mal</Evaluacion>
  <Regla Consecuente="Mal">Mal*Mal</Regla>
  <Regla Consecuente="Regular">Regular*Regular</Regla>
  <Regla Consecuente="Bien">Bien*Bien</Regla>
  <Regla Consecuente="Mal">Mal*Regular</Regla>
  <Regla Consecuente="Mal">Reguar*Mal</Regla>
  <Regla Consecuente="Regular">Mal*Bien</Regla>
  <Regla Consecuente="Regular">Bien*Mal</Regla>
  <Regla Consecuente="Bien">Regular*Bien</Regla>
  <Regla Consecuente="Bien">Bien*Regular</Regla>
</DEvaluacion>
</SEAI>

```

Figura 2.6 Fichero XML generado por EPED

## 2.2 Evaluación difusa para un editor de preguntas

Partiendo de la evaluación (dicotómica) de los incisos editados mediante EPED se obtiene una nota (valor numérico) de la pregunta, que se refiere al porcentaje de los incisos respondidos correctamente. De igual manera cada pregunta se puede evaluar de forma cualitativa utilizando las categorías que defina el profesor, y más aún definir funciones de pertenencia para dichas categorías y obtener así un conjunto de términos asociado a la evaluación de una pregunta. La evaluación del tópico dependerá de la agregación de las evaluaciones de las preguntas correspondientes a dicho tópico y finalmente se obtiene un conjunto difuso aplicando la clave (conjunto de reglas) definida previamente por el profesor, mediante un Sistema de Inferencia Difuso. Se puede obtener una evaluación cuantitativa final para el estudiante aplicando algún método de defuzificación.

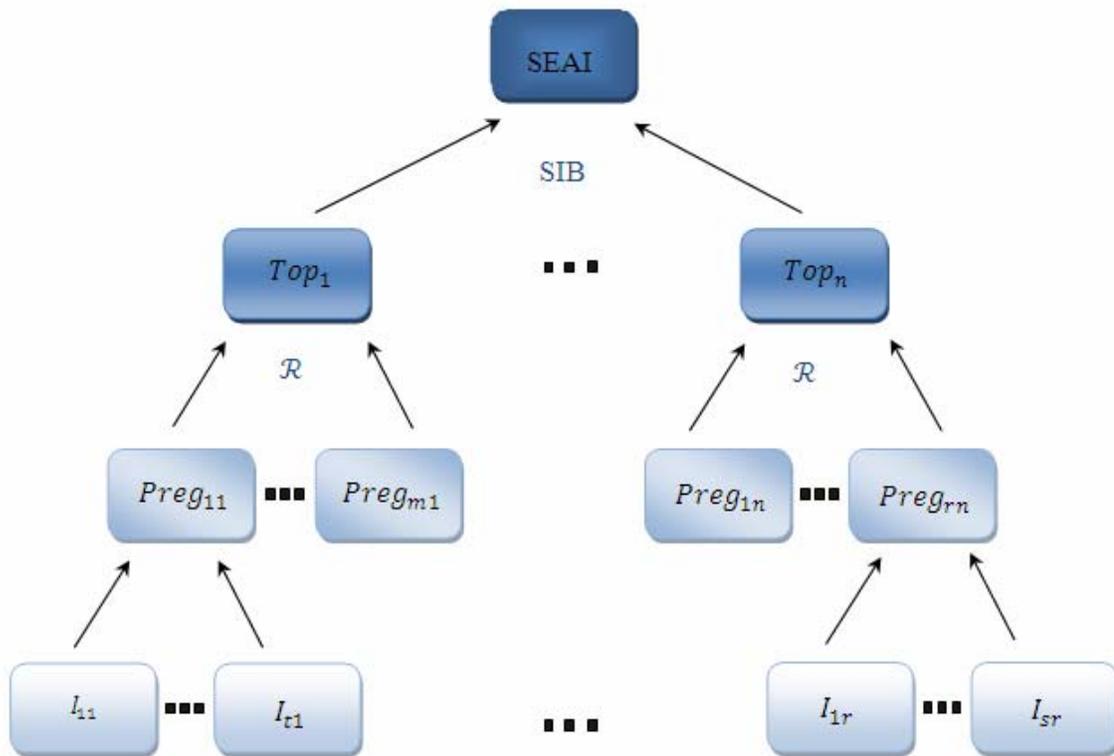


Figura 2.8 Sistema de evaluación

### 2.2.1 Descripción del modelo computacional

La notación a utilizar en el presente documento es la siguiente. Partiendo de que la evaluación de cada inciso editado es dicotómica {True, False}; denotaremos por  $P_{ij}$  el conjunto universo de la pregunta  $i$ -ésima del tópico  $j$ -ésimo,  $x_{ij} \in P_{ij}$  se refiere al porcentaje de incisos respondidos correctamente (evaluación dura de la pregunta). Sea  $\mathcal{F}$  la familia de conjuntos difusos definidos en la escala asumida por el profesor. Sea  $\{A_1, \dots, A_k\} \in \mathcal{F}$  la partición difusa según Ruspini definido para la pregunta  $P_{ij}$ . Luego  $\exists \mu_A(x_{ij}) \forall A_k \in \mathcal{F}$ .

Sea  $T_j = [0,1]$  el conjunto universo del tópico  $j$ -ésimo e  $y_j \in T_j$  representa la evaluación del tópico  $j$ -ésimo. Para calcular la nota del tópico se usa una relación difusa  $\mathcal{R}$ : “la evaluación del tópico  $T_j$  depende de las evaluaciones del preguntas  $P_{ij}$ ”; definida por:

$$\mathcal{R} = \{((x,y), \mu_{\mathcal{R}}(x,y)) \mid (x,y) \in P_{ij} \times T_j\}$$

Sea la t-conorma máximo  $S_m$  que se aplica en dicha relación.

El profesor atendiendo a su clave de calificación (reglas) define la evaluación del estudiante a partir de la evaluación de los tópicos. El método de inferencia de este modelo se basa en el empleo de un esquema de composición para producir el conjunto difuso final. Este esquema indica como acotar el conjunto difuso consecuente de cada regla a partir de los valores de sus antecedentes y luego como integrar (agregar) todos los conjuntos difusos resultantes en uno solo. Se modelan dos esquemas de combinación máximo-mínimo y máximo-producto. Partiendo de la t-conorma anteriormente definida y las t-normas mínimo y producto  $T_m$  y  $T_p$  respectivamente.

La evaluación del estudiante, que se obtiene mediante la aplicación de un Sistema de Inferencia Difuso, se corresponde con un conjunto difuso, sobre el cual pueden aplicarse métodos de defuzificación para obtener una evaluación dura si el profesor lo desea. El

método que se usa es media de los máximos, el cual consiste en calcular el promedio de los valores del universo de discurso donde se alcanza el máximo grado de pertenencia (Klawonn et al., 1997).

## **2.2.2 Implementación computacional del sistema de evaluación**

Para la implementación computacional del sistema de evaluación de EPED es necesario construir primeramente las variables lingüísticas asociadas a cada categoría que el profesor defina para luego obtener la evaluación del estudiante.

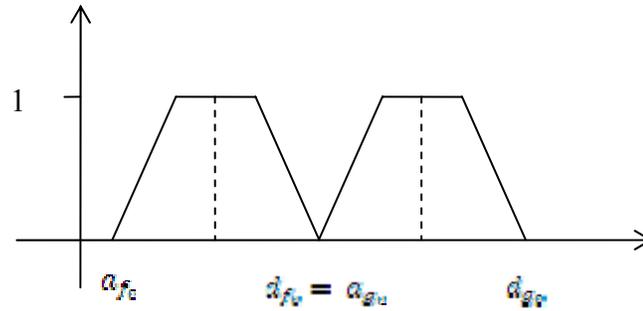
### **2.2.2.1 Construcción de las variables lingüísticas asociadas a cada término.**

En este trabajo se propone construir automáticamente funciones de pertenencia trapezoidales, por ser sencillas y fácil de obtener los parámetros que la definen. Como se mencionó en el capítulo I, existen diversos métodos para obtener funciones de pertenencia, en esta etapa se ha considerado un método analítico para construirlas definido en (Arco, 2001), a continuación se comentará brevemente.

Para estimar los parámetros de una función de pertenencia se considera el conjunto  $\mathcal{F}$  definido anteriormente ordenado ascendente. Para las funciones de pertenencia trapezoidales es necesario obtener los valores de sus parámetros  $(a, b, c, d)$  a partir de los atributos discretizado. Al discretizar un atributo se obtiene los intervalos en que este fue dividido. De cada atributo se obtiene una variable lingüística, y de cada intervalo obtenido producto de la discretización se construye cada función de pertenencia de dicha variable lingüística.

Ahora se analizará la obtención de las funciones de pertenencia trapezoidales. Se parte de los puntos que son extremos de los intervalos del atributo discreto del cual se quiere obtener la variable lingüística. Para obtener la primera función de pertenencia trapezoidal es necesario tener en cuenta el primer intervalo y el segundo. De la segunda en adelante solo es necesario considerar la función de pertenencia obtenida en el instante anterior. Se analizará ahora cómo obtener la primera función de pertenencia, se considera que la primera función es  $f$  y la segunda es  $g$ .

Considerando los trapecios que se forman con los puntos extremos de los intervalos de un atributo discretizado inicialmente se tiene lo que se muestra en la figura 2.9.



**Figura 2.9** Trapecios a partir de los intervalos de un atributo discretizado

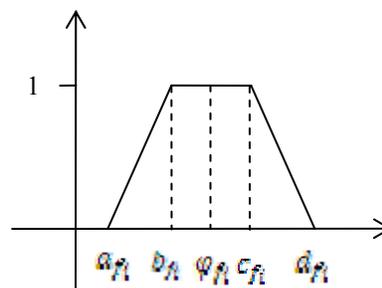
Es necesario establecer las siguientes notaciones a partir de la figura 2.9:

$a_{f_1}$ : extremo izquierdo del primer intervalo del atributo discreto.

$d_{f_1}$ : extremo derecho del primer intervalo del atributo discreto.

$a_{g_1}$ : extremo izquierdo del segundo intervalo del atributo discreto.

$d_{g_1}$ : extremo derecho del segundo intervalo del atributo discreto.



**Figura 2.10** Parámetros de la función de pertenencia

A partir de la función de pertenencia de la figura 2.10 es conocido  $a_{f_i}$  y  $d_{f_i}$  valores extremos del dominio de la función  $f_i$  y se calcula  $\varphi_i$  media de la función  $f_i$

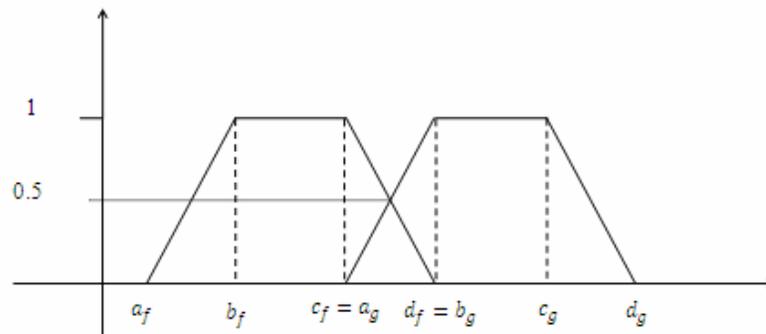
$$\varphi_i = \frac{a_{f_i} + d_{f_i}}{2}$$

Es necesario obtener  $b_{f_i}$  y  $c_{f_i}$  mediante:

$$b_{f_i} = \frac{a_{f_i} + \varphi_i}{2}$$

$$c_{f_i} = \frac{\varphi_i + d_{f_i}}{2}$$

Luego el solapamiento de las funciones de pertenencia quedaría como se muestra en la figura 2.11, formando una partición difusa.



**Figura 2.11** Solapamiento de las funciones de pertenencia trapezoidales

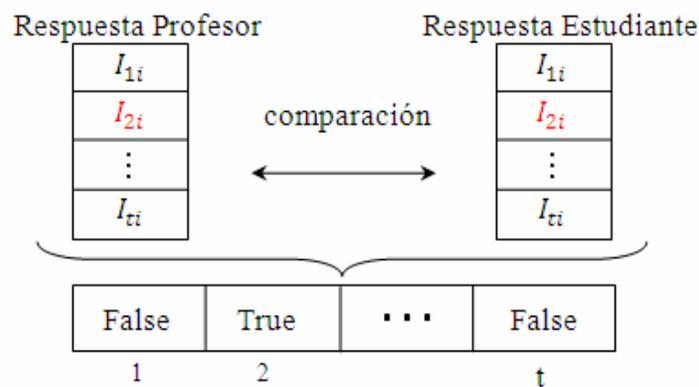
La primera función de pertenencia y la última son especiales, debido a que los parámetros  $a_{f_1}$ ,  $b_{f_1}$  y  $c_{f_k}$ ,  $d_{f_k}$  son iguales respectivamente, siendo  $k$  el último valor lingüísticos.

En el diseño se concibió primeramente la clase *TEvaluacion* y *TReglas* para el almacenamiento de la información definida por el profesor para la evaluación (véase Anexo

#3 y Anexo #4), posteriormente la clase *TTrapecio* para almacenar los datos de cada función de pertenencia, la cual está relacionada con la clase *TGrafica* donde se implementan los procedimientos para la construcción de cada una de las funciones de pertenencia (véase Anexo #4).

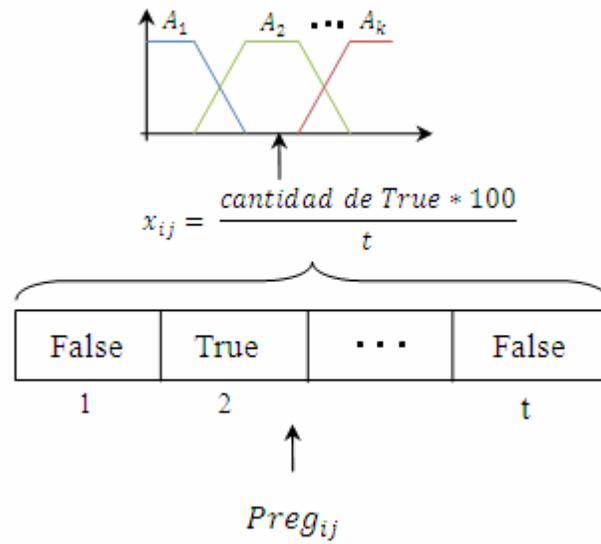
### 2.2.2.2 Obtención de la evaluación final mediante la lógica difusa

Para obtener una evaluación final en EPED se parte de la evaluación de los incisos esto se logra comparando las respuestas del profesor con las del estudiante; obteniendo para los mismos una nota dicotómica {True, False} (véase figura 2.12).



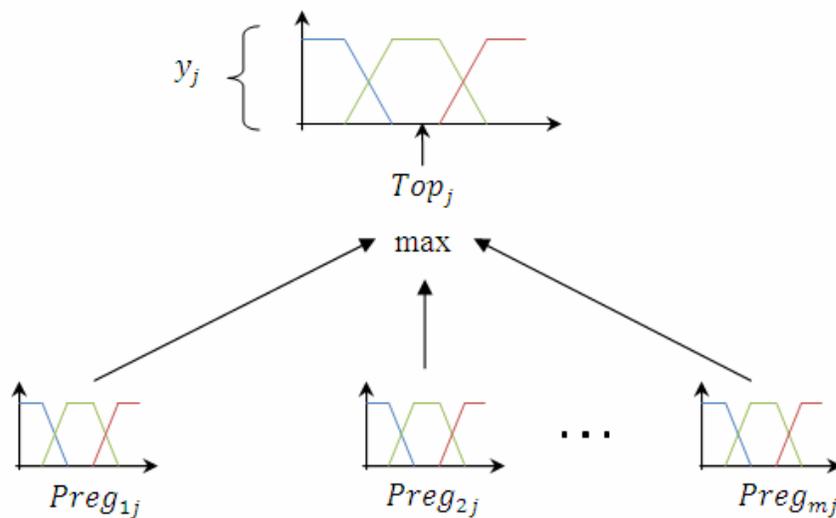
**Figura 2.12** Obtención de la evaluación de los  $t$  incisos de la pregunta  $i$ -ésima

Luego se obtiene la evaluación dura para la pregunta que está compuesta por los incisos evaluados anteriormente de la forma que se muestra en la figura 2.13, nótese que ya en este nivel la evaluación se empieza a tratar difusa.



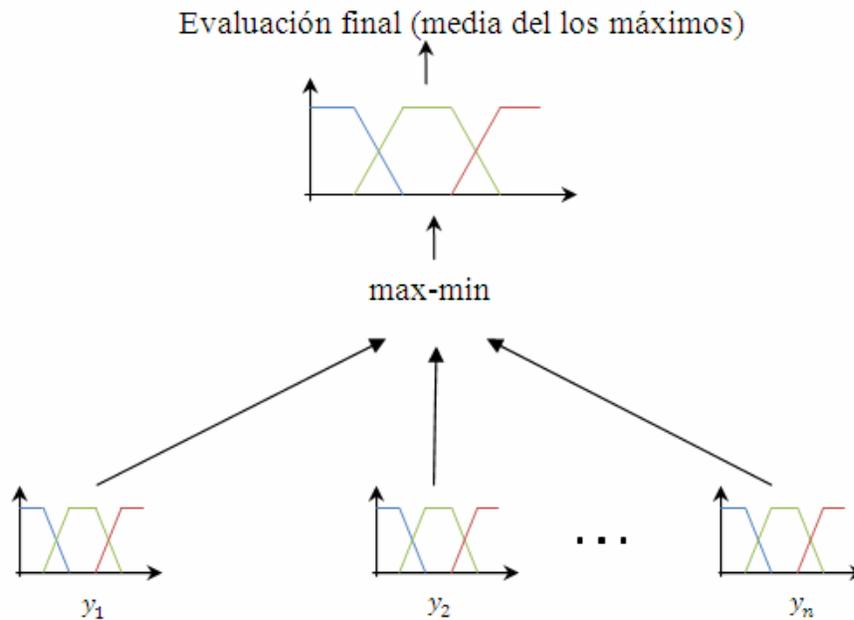
**Figura 2.13** Obtención de la evaluación de la pregunta  $i$ -ésima del tópico  $j$ -ésimo

Una vez alcanzada las evaluaciones de las preguntas se puede obtener la evaluación del tópico correspondiente, se logra aplicando la relación difusa  $\mathcal{R}$  donde se aplica  $S_m$  para calcular el máximo de cada valor lingüístico (véase figura 2.14).

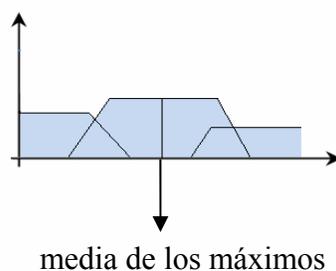


**Figura 2.14** Obtención de la evaluación del tópico  $j$ -ésimo

Ya está todo listo para la obtención de la evaluación del SEAI, que se hace mediante un SID. Cada regla del mismo tiene antecedentes (evaluación de los tópicos) y consecuente (evaluación final) difusos, el resultado de la inferencia se obtiene al aplicar todas las reglas de la base (clave que definió el profesor) y conciliar las inferencias parciales de estas. Se usa los operadores  $S_m$  y  $T_m$  (max-min); el operador  $T_m$  para hallar el acotamiento del conjunto difuso que resulta de cada regla y el operador  $S_m$  para realizar la agregación de los conjuntos difusos (véase figura 2.15). El producto de esta agregación es necesario defuzificarlo. El método de defuzificación empleado es media de los máximos como se había hecho referencia en el sub-epígrafe 2.2.1 (véase figura 2.16).



**Figura 2.15** Obtención de la evaluación final



**Figura 2.16** Método de defuzificación media de los máximos

Se diseñó un módulo *UDifuso* (véase Anexo #4) donde se implementa los elementos del SID y la clase *TNotas* donde se implementan los procedimientos para calcular todas las evaluaciones (véase Anexo #5).

### 2.3 Un Caso de Estudio: EPED para un SEAI de Historia de Cuba

La validación consiste en asegurarse que el sistema realice correctamente la evaluación del SEAI, cumpliendo las especificaciones. En el área de la Informática Educativa es difícil realizar una validación porque no existen bases de datos para validar los resultados obtenidos por los sistemas realizados. Es por eso que se realizó un caso de estudio de una prueba de Historia de Cuba (véase Anexo #13) la cual fue evaluada por expertos en dicha asignatura y por EPED aplicando diferentes esquemas de combinación (max-min y max-prod). Para la evaluación de dicho examen se consideró que todas las preguntas tuvieran igual peso, se definieron por el experto las categorías Mal (de 0 a 60 puntos), Regular (de 60 a 80 puntos) y Bien (de 80 a 100 puntos) además de una clave de evaluación.

En este trabajo se presenta una las tabla (véase Anexo #6) donde se muestran los resultados obtenidos por la evaluación ofrecida por el experto y por EPED aplicando max-min y max-prod. Nótese que las evaluaciones obtenidas en EPED utilizando la combinación max-min son mejores que los resultados obtenidos utilizando max-prod ya que devuelve resultados más semejantes a las evaluaciones ofrecidas por el experto humano.

## **2.4 Conclusiones Parciales**

A partir de la modelación e implementación del Editor de Preguntas con Evaluación Difusa (EPED) desarrollado en el presente trabajo se pueden arribar a las siguientes conclusiones:

- Se desarrolló un editor de preguntas que ofrece al usuario libertad para definir la escala de evaluación evadiendo “normalización” de los datos.
- Se formaliza un modelo computacional utilizando Relaciones Binarias de la lógica difusa y un Sistema de Inferencia Difuso para evaluar un estudiante en EPED.
- Se implementa un sistema de evaluación que resulta independiente del SEAI que se edite.

## CAPÍTULO III. MANUAL DE USUARIOS

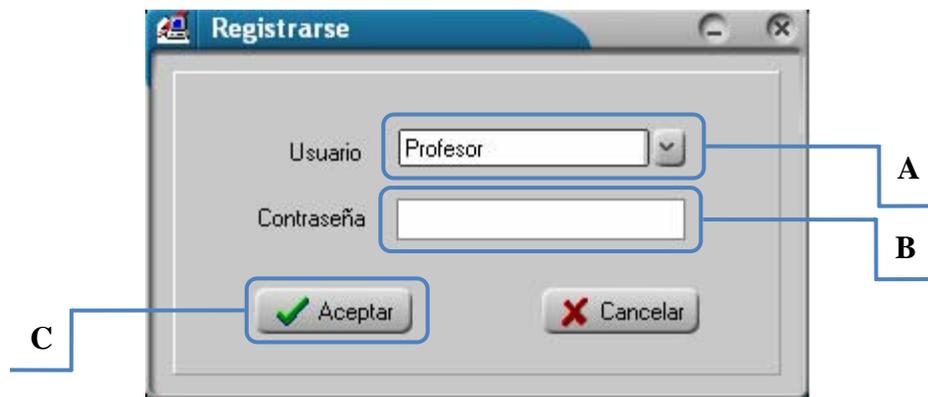
En este capítulo se describen las facilidades de uso para los usuarios Profesor y Estudiante de EPED, el cual necesita requerimientos mínimos para su funcionamiento:

- Procesador Intel 486/100 MHz o superior.
- 16 Mb de memoria RAM.
- Sistema operativo Windows 95 o superior.
- Monitor SVGA.

### 3.1 Manual de Usuario

#### Inicio de una sesión de trabajo

La sesión de trabajo del Editor comienza mostrando su ventana de presentación, la cual se usa para autenticarse en la aplicación (véase figura 3.1).



**Figura 3.1** Ventana de presentación

Para entrar al Editor el usuario necesita identificarse:

**A:** Seleccionar tipo de usuario.

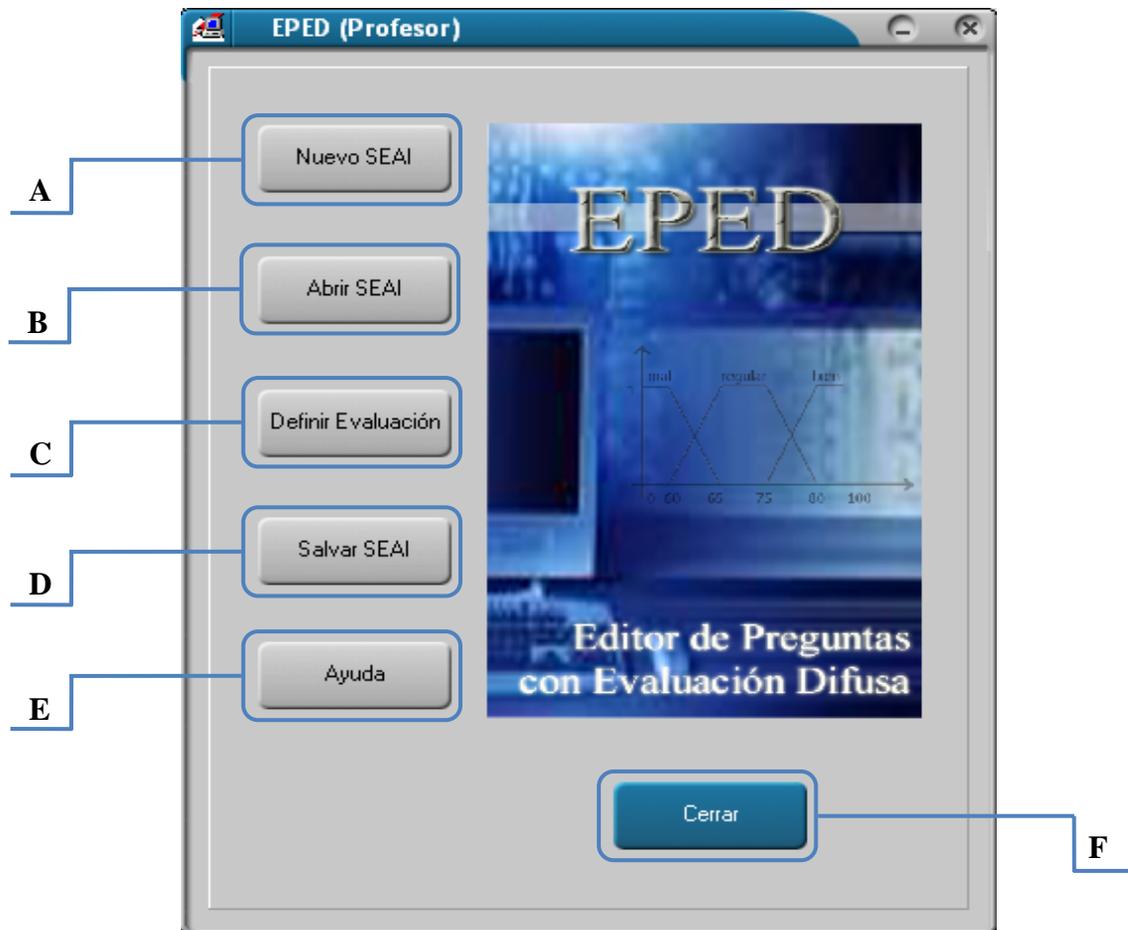
**B:** Escribir contraseña.

**C:** Al presionar, si la selección realizada en **A** es “Profesor” el sistema comprueba que la contraseña entrada en **B** sea la correcta y de ser así se muestra la ventana donde éste podrá elaborar su Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente de lo contrario se ofrece la posibilidad de volver a entrar la contraseña. Si la selección en **A** es

“Estudiante” el sistema comprueba que la contraseña entrada por el usuario en **B** sea la correcta y de ser así se muestra la ventana de la figura 3.18 donde el estudiante responderá las preguntas del Sistema de Enseñanza- Aprendizaje Inteligente elegido.

### 3.1.1 Interfaz para el usuario Profesor

En la ventana Profesor (véase figura 3.2) se permite ejecutar las siguientes opciones:



**Figura 3.2** Ventana Profesor

- A:** Permite crear un nuevo Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente diseñado por el “profesor”.
- B:** Permite abrir un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente anteriormente creado y guardado con el fin de poder modificarlo.
- C:** Muestra la ventana donde se define la evaluación (véase figura 3.14).

**D:** Muestra la ventana a través de la cual se va a guardar el Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente almacenado en un fichero XML (Es necesario definir un nombre con extensión .xml).

**E:** Se le explica al usuario como trabajar con EPED (véase figura 3.17).

**F:** Salir de la aplicación.

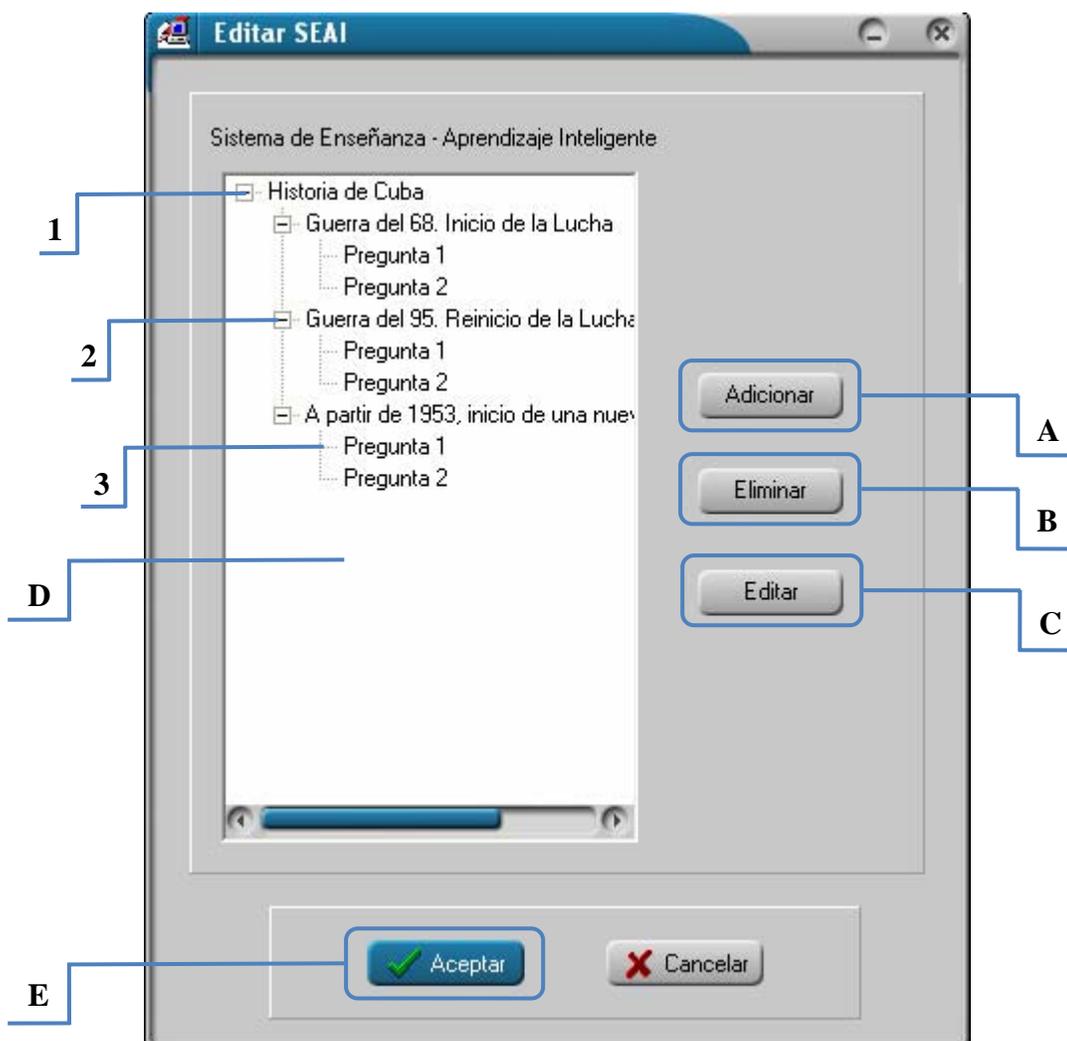
Si se presiona **A** se mostrará una ventana (véase figura 3.3) y seguidamente se muestra la ventana Editar SEAI (véase figura 3.4) en la cual el profesor podrá definir los tópicos y preguntas de su SEAI.



**Figura 3.3** Nombre del SEAI

**A:** Se introduce el nombre del SEAI

**B:** Al presionar este botón se muestra seguidamente la ventana Editar SEAI (véase figura 3.4) en la cual el profesor podrá definir los tópicos y preguntas de su SEAI.

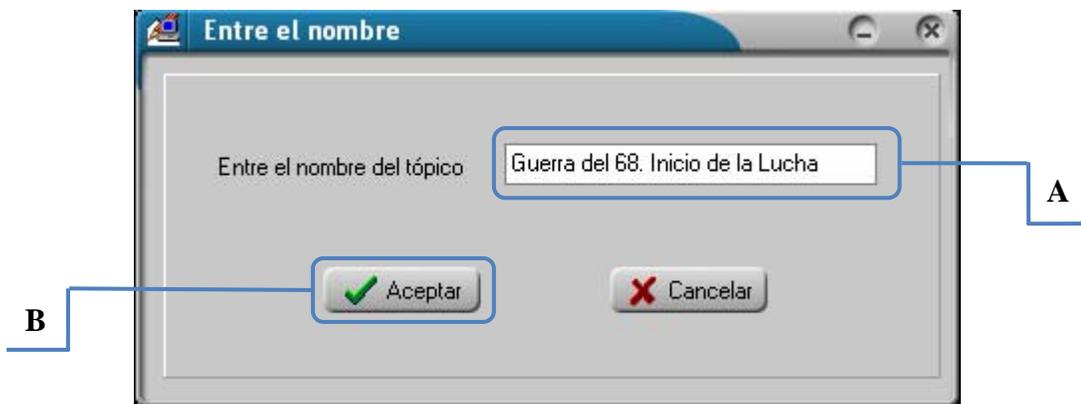


**Figura 3.4** Editar SEAI

- A:** Adiciona un elemento dependiendo de lo que este seleccionado en **D**. Si lo que está seleccionado es **1** se adiciona un tópico al SEAI mostrándose una ventana donde se introduce el nombre del tópico (véase figura 3.5). Si es **2** se adiciona una nueva pregunta al tópico seleccionado mostrándose una ventana donde se introduce el nombre y el tipo de la pregunta que se está adicionando (véase figura 3.6).
- B:** Elimina un elemento dependiendo de lo que este seleccionado en **D**. Si lo que está seleccionado es **2** se elimina un tópico al Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente y todas las preguntas incluidas en él. Si es **3** se elimina una nueva pregunta.

**C:** Edita un elemento dependiendo de lo que este seleccionado en **D**. Si lo que está seleccionado es **1** se edita el nombre del Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente mostrándose la ventana de la figura 3.3. Si es **2** se edita el nombre del tópico a través de la ventana de la figura 3.5 y si es **3** se edita la pregunta seleccionada mostrándose una ventana en dependencia del tipo de pregunta que se está editando (Verdadero o falso véase figura 3.7, Relacionar columnas véase figura 3.10, Pantalla de explicación ver figura 3.11, Selección con Complemento Simple véase figura 3.12, Selección con Complemento Agrupado véase figura 3.13).

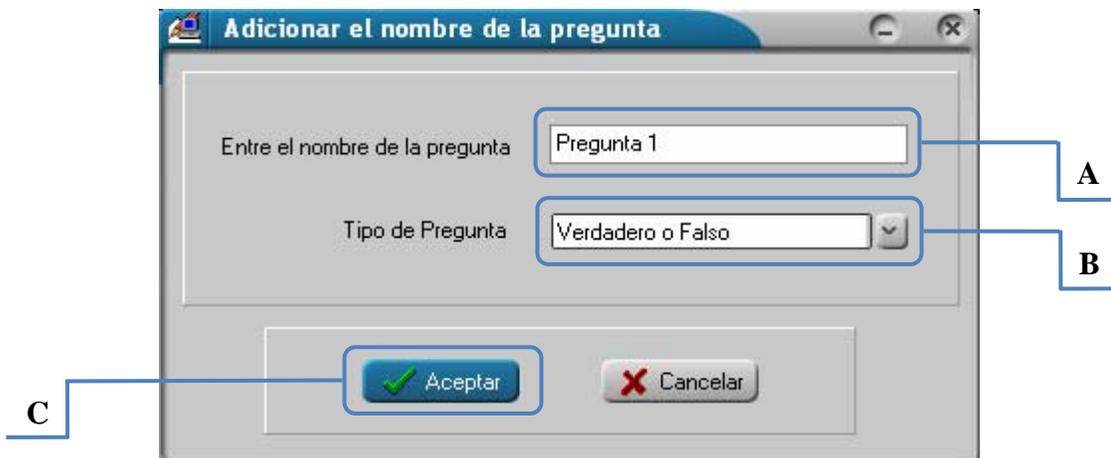
**E:** Se aceptan todos los cambios realizados y regresa a la ventana EPED (Profesor).



**Figura 3.5** Nombre del tópico

**A:** Se introduce el nombre del tópico.

**B:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Editar SEAI.

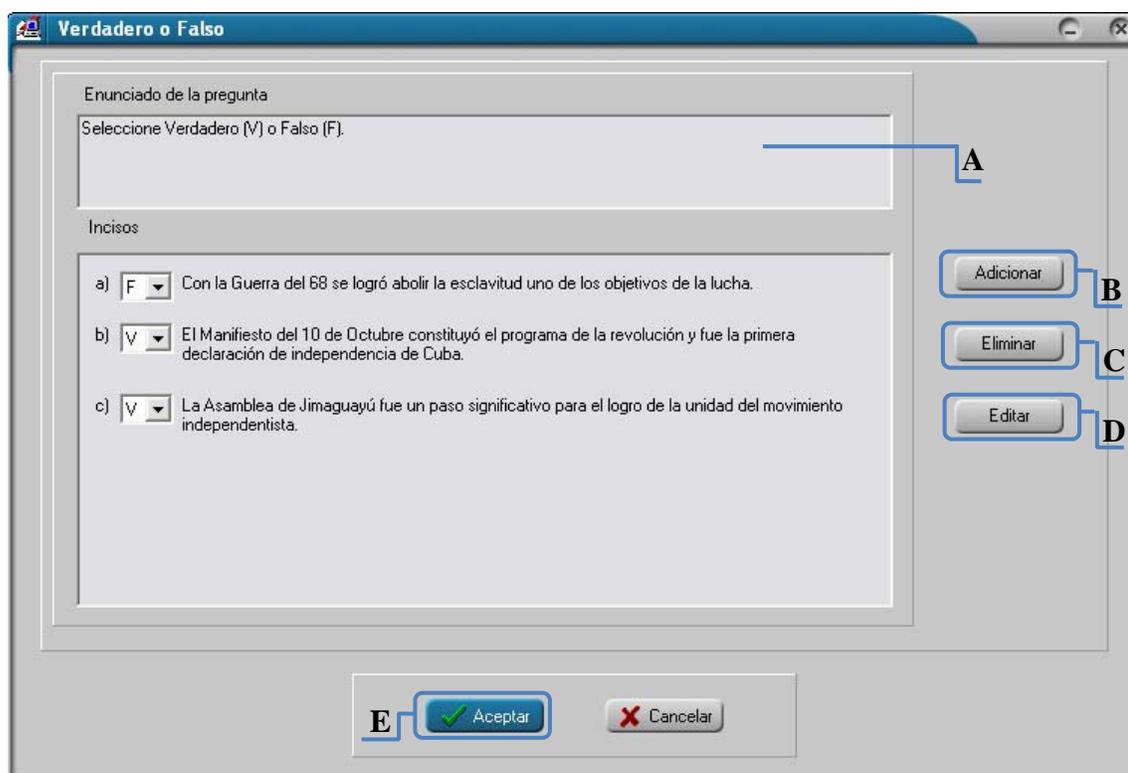


**Figura 3.6** Nombre y tipo de la pregunta

**A:** Se introduce el nombre de la pregunta.

**B:** Se selecciona el tipo de pregunta.

**C:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Editar SEAI.

**Figura 3.7** Tipo de pregunta Verdadero o Falso

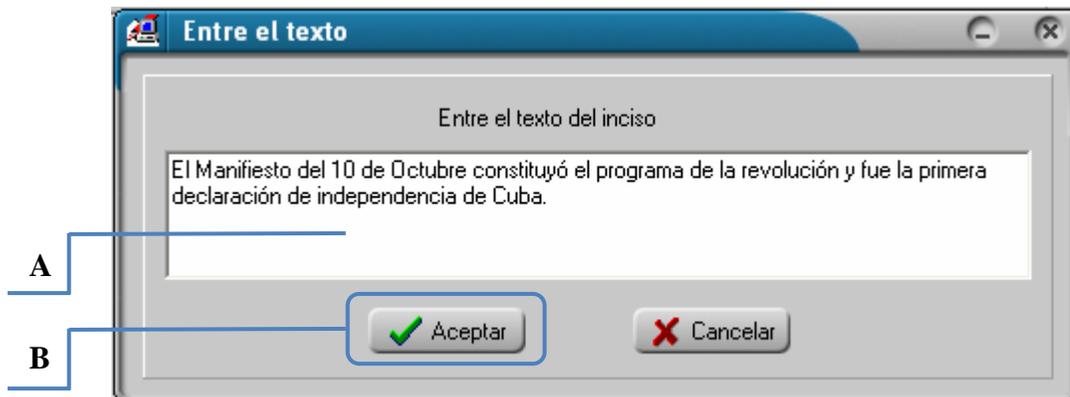
**A:** Se introduce el enunciado de la pregunta.

**B:** Adiciona un nuevo inciso a la pregunta mediante la ventana de la figura 3.8.

**C:** Elimina el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9.

**D:** Edita el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9.

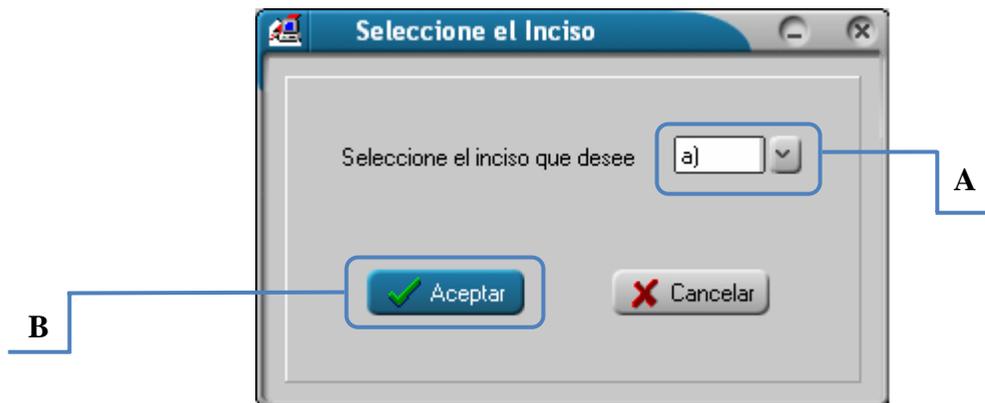
**E:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Editar SEAI.



**Figura 3.8** Texto del inciso

**A:** Se introduce el texto de inciso.

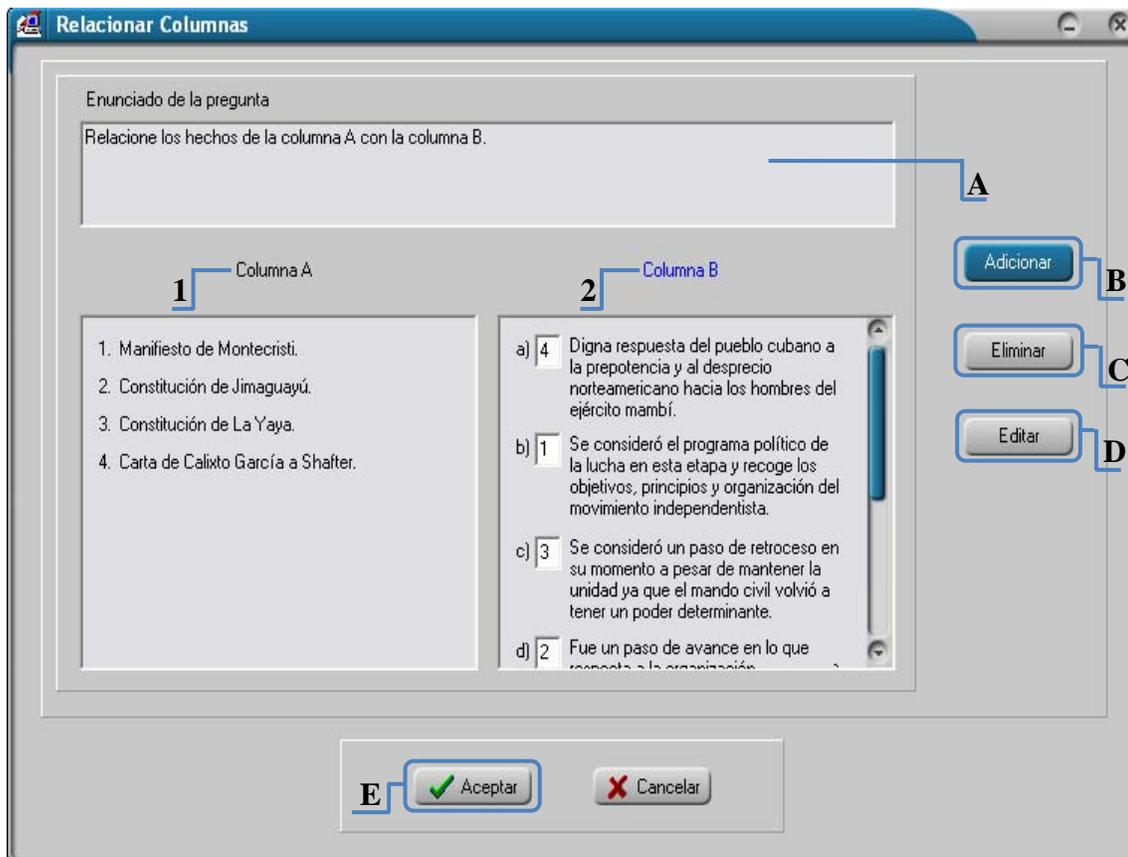
**B:** Acepta los cambios realizados y regresa a la ventana donde se está editando la pregunta.



**Figura 3.9** Selección del inciso

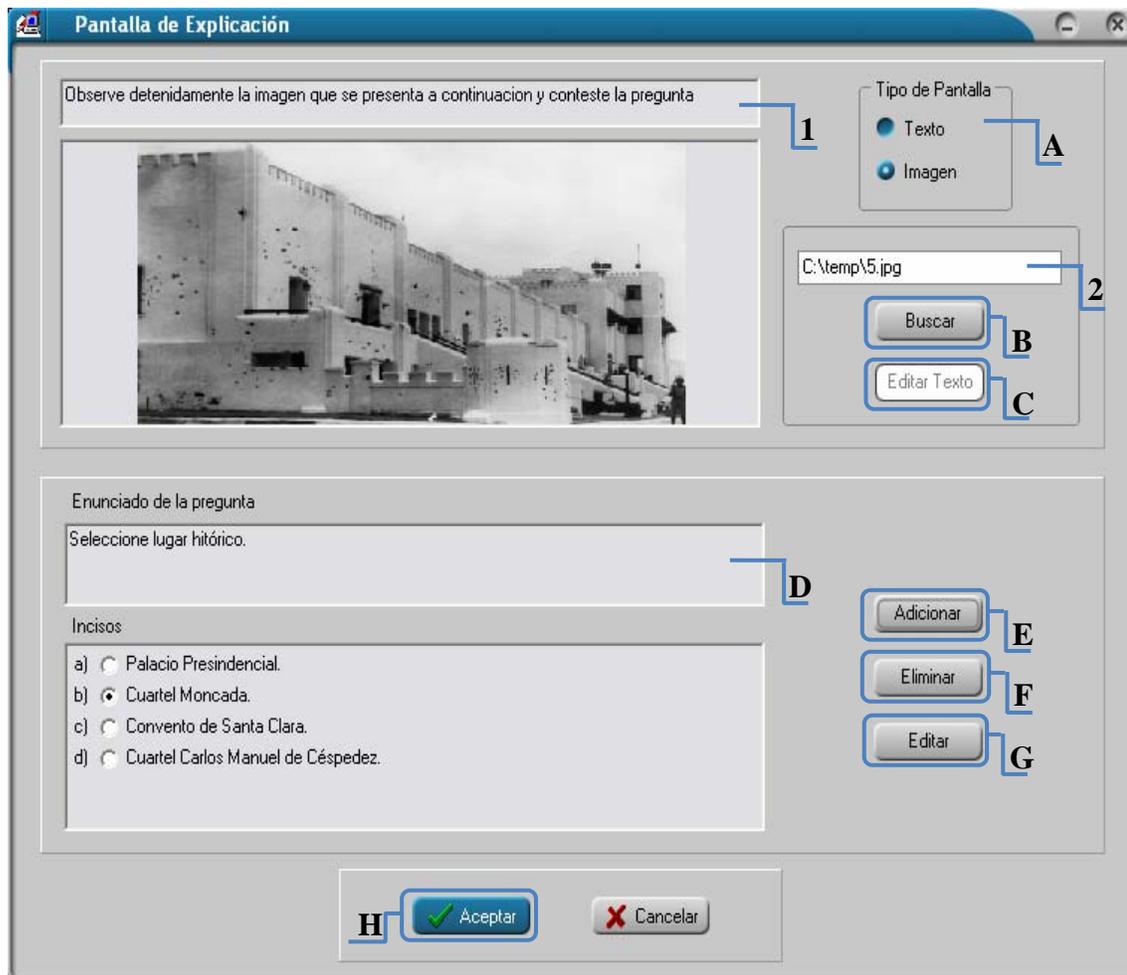
**A:** Se selecciona el inciso.

**B:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana donde se está editando la pregunta.



**Figura 3.10** Tipo de pregunta Relacionar Columnas

- A:** Se introduce el enunciado de la pregunta.
- B:** Adiciona un nuevo inciso a la pregunta mediante la ventana de la figura 3.8 en dependencia de la columna que esté seleccionada (Una columna se selecciona haciendo click en **1** o **2**).
- C:** Elimina el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9 en dependencia de la columna que esté seleccionada.
- D:** Edita el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9 en dependencia de la columna que esté seleccionada.
- E:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Editar SEAI.

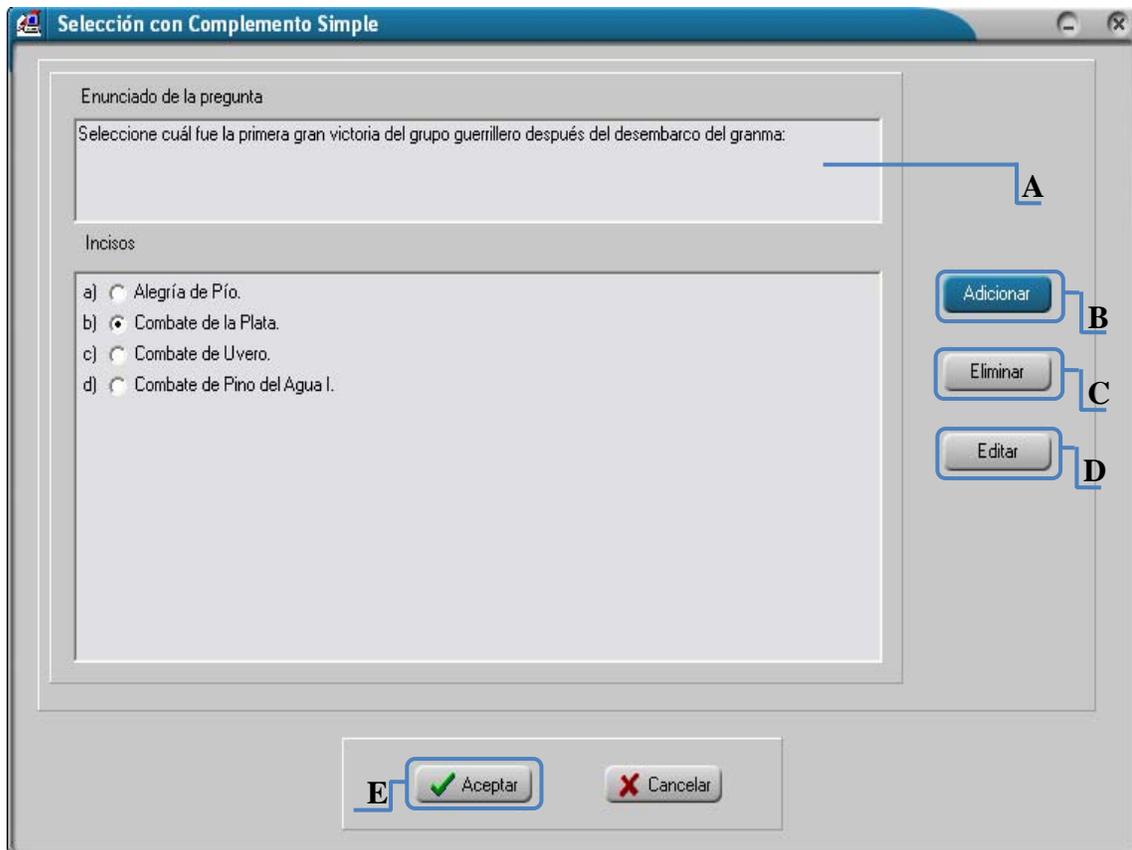


**Figura 3.11** Tipo de pregunta Pantalla de Explicación

- A:** Se selecciona el tipo de pantalla con el que se va a trabajar y según el elemento seleccionado se muestra automáticamente el texto en **1**. Si lo seleccionado es “texto” se habilita **C**.
- B:** Se muestra una ventana para la búsqueda del texto o la imagen en dependencia de lo seleccionado en **A**, mostrándose en la pantalla el elemento buscado y en **2** la dirección donde se encuentra.
- C:** Mediante la ventana de la figura 3.8 se edita el texto que se mostrará en pantalla.
- D:** Se introduce el enunciado de la pregunta.
- E:** Adiciona un nuevo inciso a la pregunta mediante la ventana de la figura 3.8.
- F:** Elimina el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9.

**G:** Edita el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9

**H:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Editar SEAI.



**Figura 3.12** Tipo de pregunta Selección Simple con Complemento Simple

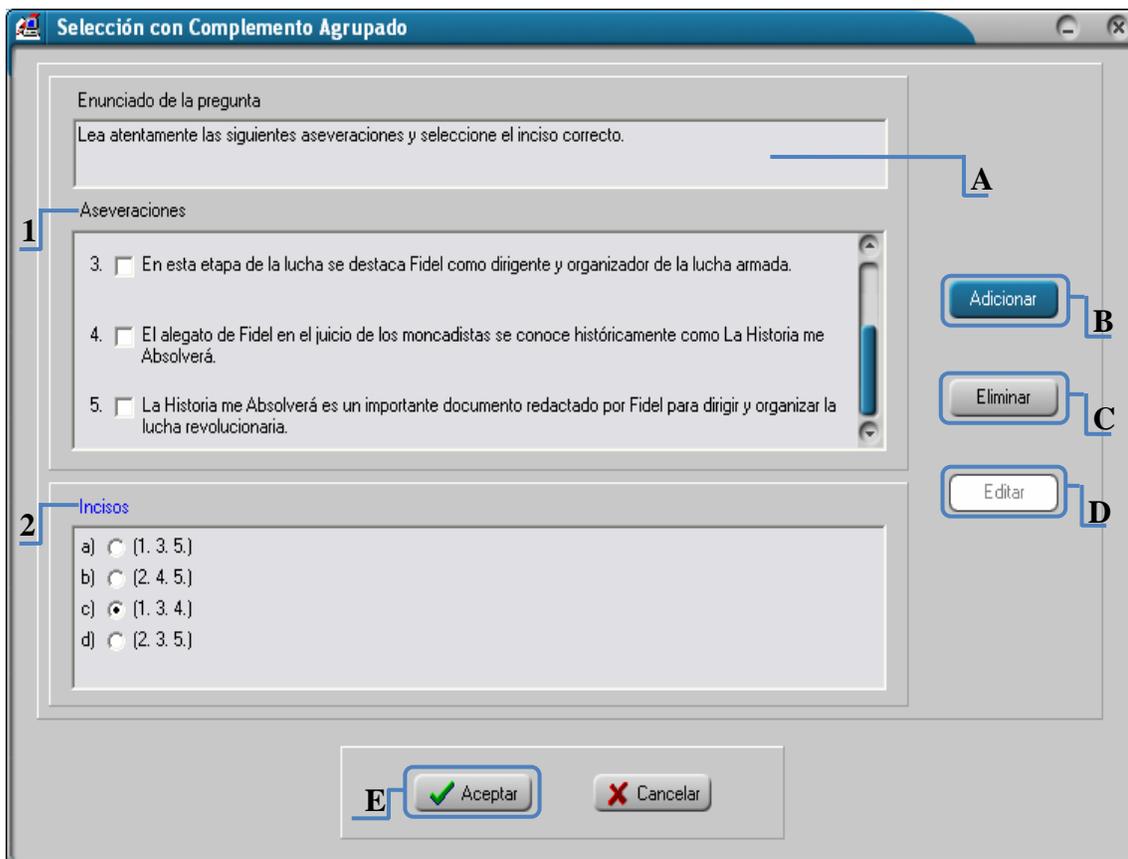
**A:** Se introduce el enunciado de la pregunta.

**B:** Adiciona un nuevo inciso a la pregunta mediante la ventana de la figura 3.8.

**C:** Elimina el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9.

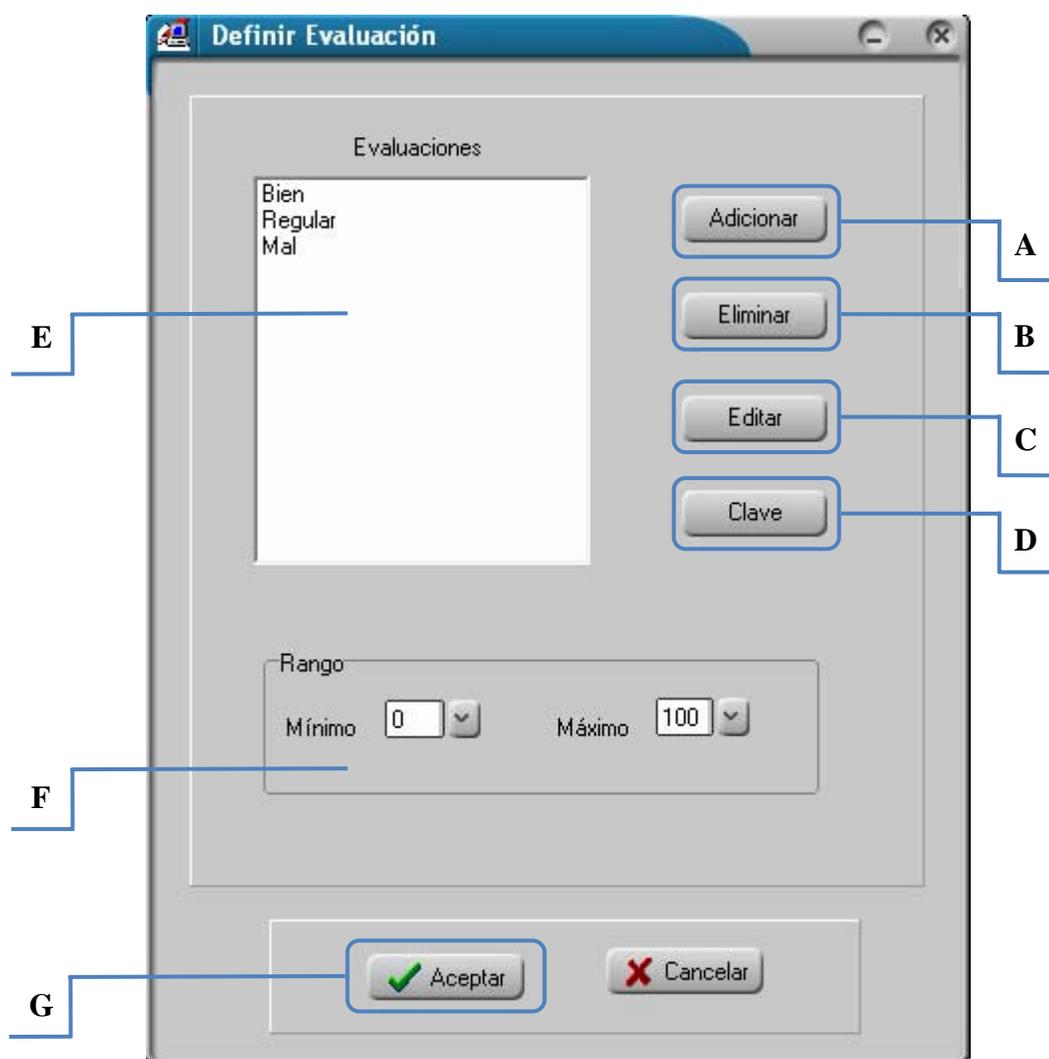
**D:** Edita el inciso seleccionado en la ventana de la figura 3.9.

**E:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Editar SEAI.



**Figura 3.13** Tipo de pregunta Selección Simple con Complemento Agrupado

- A:** Se introduce el enunciado de la pregunta.
- B:** Si lo seleccionado es **1** adiciona una nueva aseveración mediante la ventana de la figura 3.8. Si es **2** se adiciona un nuevo inciso compuesto por los elementos marcados en **3**.
- C:** Elimina el "Inciso" o "Aseveración" seleccionado en la ventana de la figura 3.9.
- D:** Edita la "Aseveración" seleccionada en la ventana de la figura 3.9.
- E:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Editar SEAI.



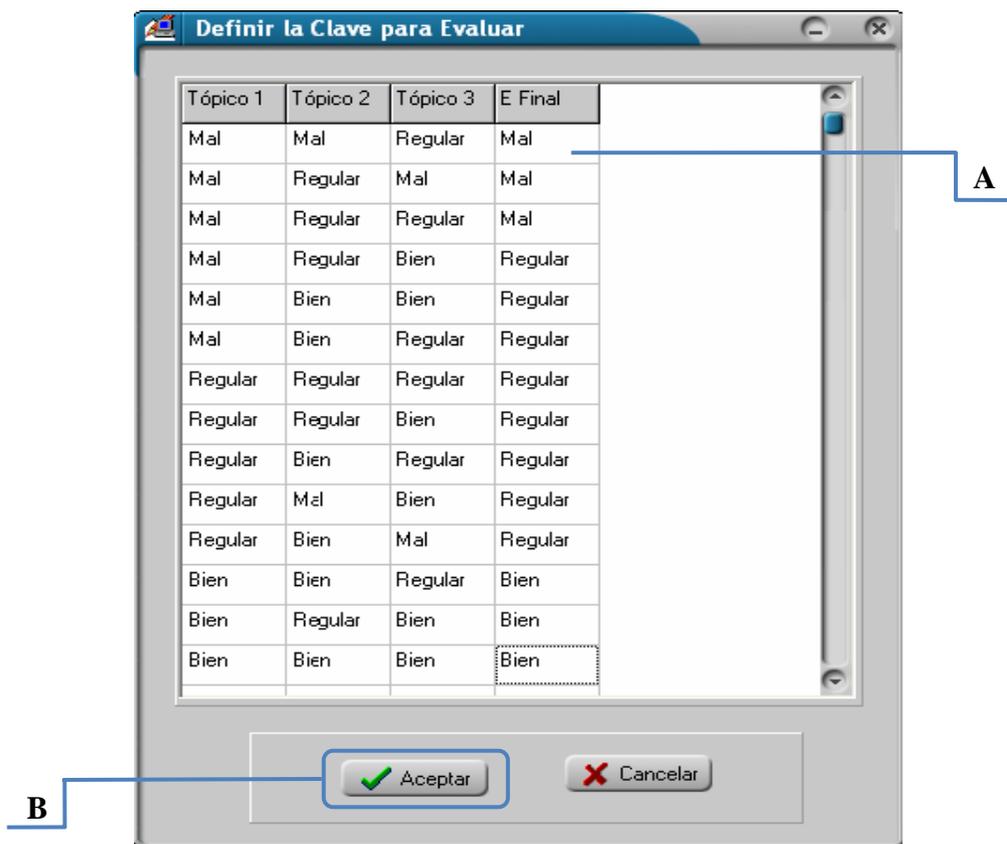
**Figura 3.14** Definir sistema de evaluación

- A:** Adicionar una nueva evaluación en **E** mediante la ventana de la figura 3.15.
- B:** Elimina la evaluación seleccionada en **E**.
- C:** Edita la evaluación seleccionada en **E** mediante la ventana de la figura 3.15.
- D:** Muestra la ventana de la figura 3.16.
- F:** Se selecciona el rango de valores para el sistema de evaluación.
- G:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana EPED (Profesor).



**Figura 3.15** Definir una evaluación

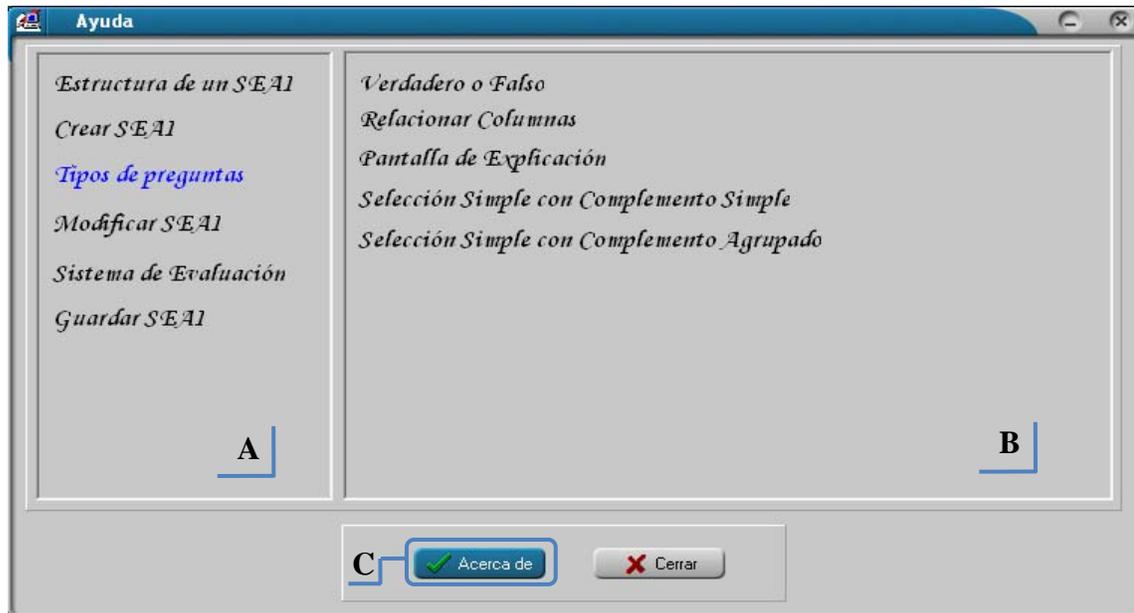
- A:** Introduce la evaluación que el profesor desee.
- B:** Se selecciona el rango de valores para la evaluación definida en **A**.
- C:** Se aceptan los cambios realizados y se regresa a la ventana Definir Evaluación.
- D:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Definir Evaluación.



**Figura 3.16** Definir la clave para la evaluación

**A:** Introducir la clave que el profesor define para evaluar; teniendo en cuenta las evaluaciones definidas en la ventana de la figura 3.14.

**B:** Se aceptan los cambios realizados y regresa a la ventana Definir Evaluación.

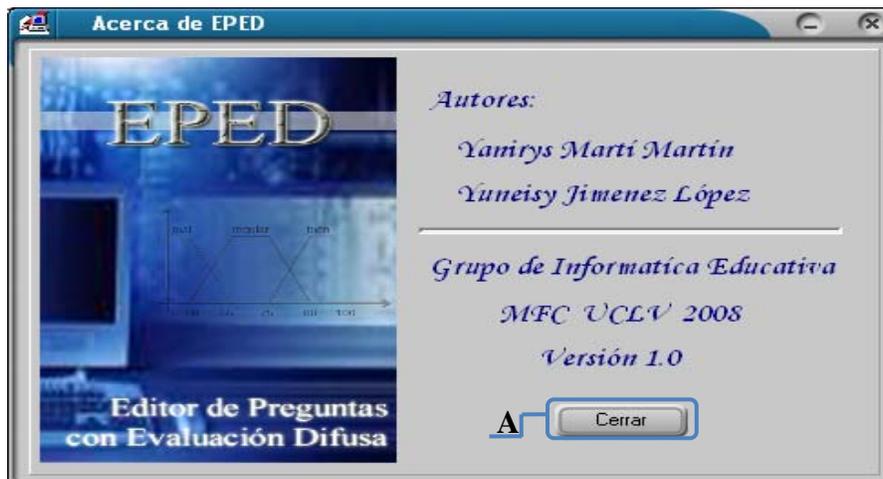


**Figura 3.17** Ayuda de EPED

**A:** Se muestra una lista con el contenido de la ayuda.

**B:** Se muestra el contenido del elemento seleccionado en A.

**C:** Se muestra la ventana de la figura 3.18.

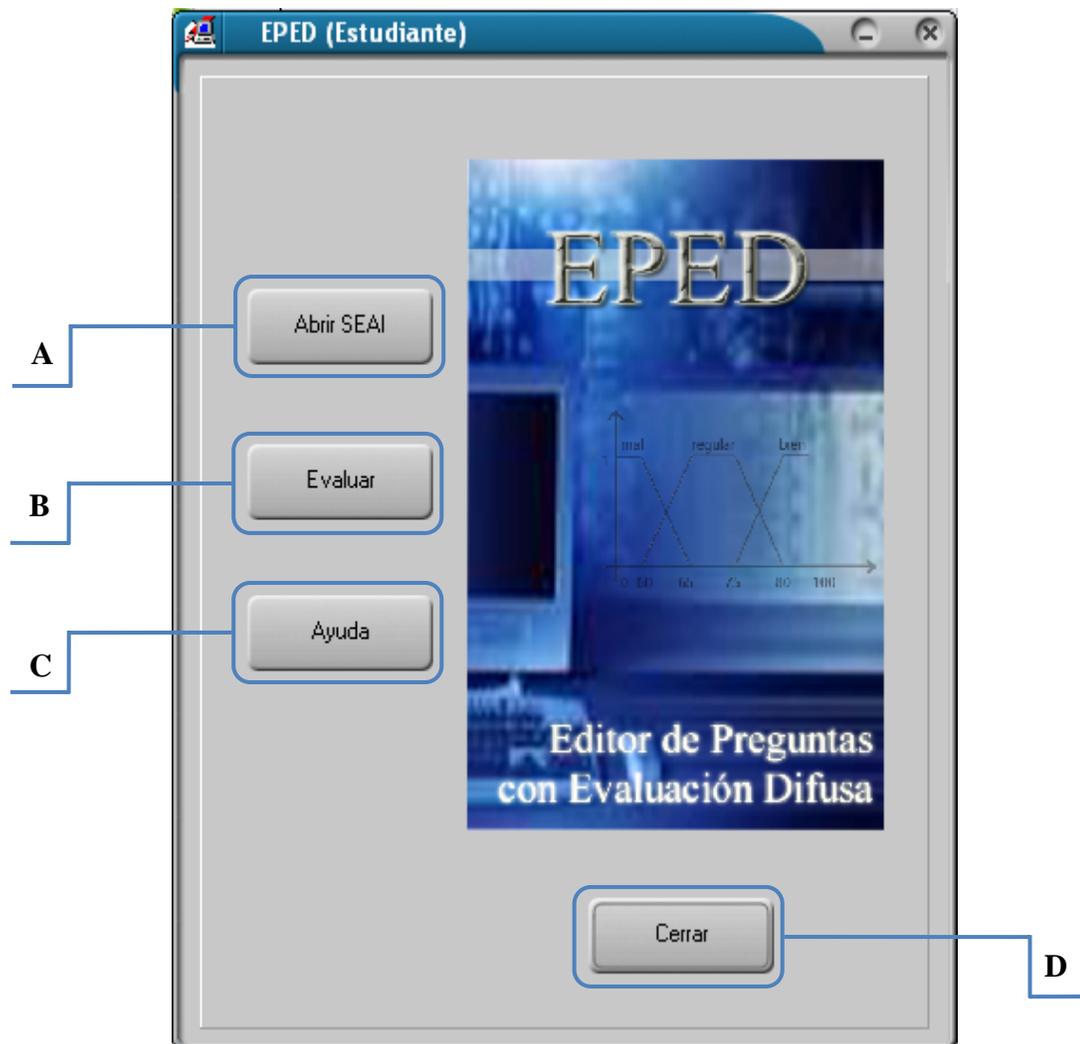


**Figura 3.18** Acerca de EPED

**A:** Regresa a la ventana Ayuda.

### 3.1.2 Interfaz para el usuario Estudiante

En la ventana EPED (Estudiante) de la figura 3.18 aparecen las opciones que puede ejecutar el usuario estudiante.



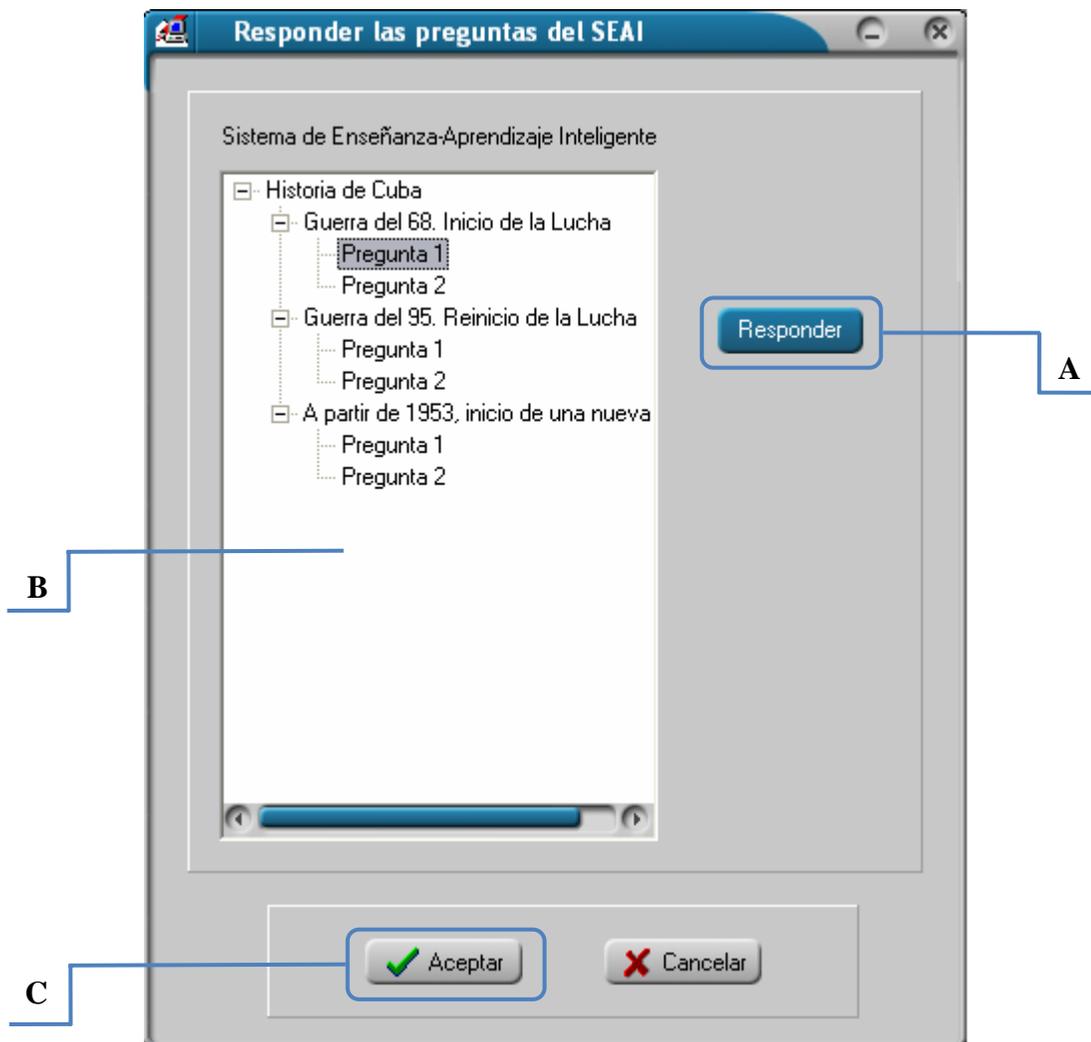
**Figura 3.18** Ventana Estudiante

**A:** Se muestra una ventana para abrir el Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente con el cual el estudiante va a interactuar, mostrándose el contenido de el mismo en la ventana Responder las Preguntas del SEAI (véase figura 3.19).

**B:** Muestra una ventana con la evaluación obtenida por el estudiante al resolver el Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente (véase figura 3.20).

**C:** Se le explica al usuario como trabajar con EPED (véase figura 3.21).

**D:** Salir de la aplicación.



**Figura 3.19** Responder SEAI

**A:** Muestra la ventana correspondiente con la pregunta seleccionada en **B** (Verdadero o falso véase Anexo #7, Relacionar columnas véase Anexo #8, Pantalla de explicación Anexo

#9 y Anexo #10, Selección con Complemento Simple véase Anexo #11, Selección con Complemento Agrupado véase Anexo #12).

**B:** Muestra el contenido del Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente.

**C:** Se aceptan todos los cambios realizados y se regresa a la ventana EPED (Estudiante).



**Figura 3.20** Calificación Obtenida

**A:** Regresa a la ventana EPED (Estudiante).

## **CONCLUSIONES**

Como resultado de esta investigación se desarrolló e implementó un editor de preguntas con evaluación difusa (EPED) que le permite a un profesor elaborar los tópicos y las preguntas que pueden ser utilizados en un Sistema de Enseñanza-Aprendizaje Inteligente, de forma tal que el profesor tenga la facilidad de definir su propio sistema de evaluación, cumpliéndose el objetivo general planteado, ya que:

- Se desarrolló una interfaz visual, usable y amigable que le permite al profesor interactuar fácilmente con la herramienta.
- Se elaboró una herramienta que le permita a profesores no necesariamente especialistas en computación implementar preguntas de cualquier especialidad y nivel.
- Se implementó un Sistema de Inferencia Difuso para la evaluación de los estudiantes, pues mediante la lógica difusa se logra mayor naturalidad y flexibilidad en la modelación del sistema de evaluación de los SEAI.

## **RECOMENDACIONES**

Teniendo en consideración que el modelo propuesto es extensible se recomienda:

- Incorporar a EPED nuevos tipos de preguntas.
- Implementar otras funciones de pertenencia como las triangulares y campana-beta.
- Aplicar aprendizaje automatizado (Machine Learning) a partir de ejemplos de exámenes previamente calificados con el fin de reducir la ingeniería del conocimiento, generando una menor cantidad de reglas.
- Probar otros enfoques alternativos de Inteligencia Artificial como: Redes Neuronales Artificiales Difusas (Fuzzy- RNA) y Rasonamiento Basado en Caso Difuso (Fuzzy-RBC).
- Aplicar otros esquemas de combinación (t-conormas, t-normas) en el Sistema de Inferencia Difuso.
- Realizar una validación de EPED utilizando una mayor base de datos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ÁLVAREZ, M. A. (2002) Introducción a XML.
- ARCO, L. (2001) Machine Learning para la construcción de reglas fuzzy. .  
Santa Clara. Cuba, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- BAETS, B. D. & FODOR, J. C. (1999) "Residual operators of uninorms." Soft  
Comput.
- BELLO, R. (2002) Aplicaciones de la Inteligencia Artificial. Jalisco. Mexico  
Universidad de Guadalajara.
- BUCKLEY, J. J. & ESLAMI, E. (2002) An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy  
Sets.
- BURILLO, P. & FRAGO., N. (2000) "Inclusion grade and fuzzy implication  
operators." Fuzzy Sets and Systems.
- BUTNARIO, D. & KLEMENT, E. P. (1993) Triangular Norm-Based Measures and  
Games with Fuzzy Coalitions., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- CHIANG, D. A. & LIN, N. P. (1999) "Correlation of Fuzzy Sets". Fuzzy Sets and  
Systems.
- DUBOIS, D. & PRADE, H. (1980) Fuzzy Sets and Systems: Theory and  
Applications.
- ESCRIG, A. (2007) La Revolución de la Lógica Difusa
- FERNÁNDEZ, R. (2005) Ingeniería del Conocimiento Automatizada en la  
creación del Modelo del Estudiante de los Sistemas de Enseñanza-  
Aprendizaje Inteligentes. Granada. España, Facultad de Ciencias de  
la Educación. Universidad de Granada
- FODOR, J. (2003) On rational uninorms. Proc. 1st Slovakian - Hungarian Joint  
Symposium on Applied Machine Intelligence, Herlany, Slovakia.

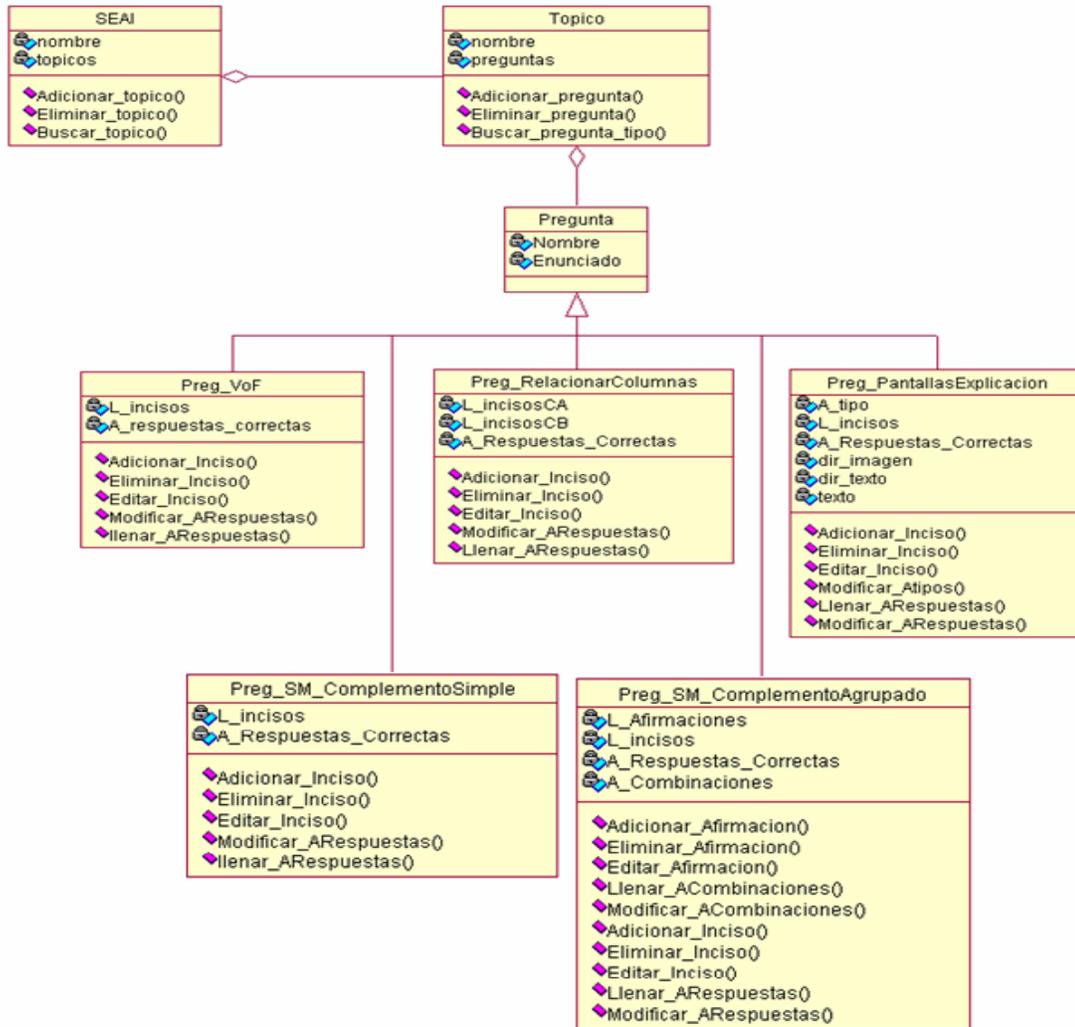
- GARCÍA, Z. Z. (1993) Investigación y elaboración de Sistemas de Enseñanza Inteligentes. Santa Clara. Cuba.
- JANG, J.-S. & SUN, C.-T. (1997) *Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence*.
- KLAWONN, F., KRUSE, R. & DETLIF (1997) *FOUNDATIONS OF NEURO-FUZZY SYSTEMS*.
- KLEMENT, E. P., MESIAR, R. & PAP, E. (2000) Triangular Norms, Springer.
- KLIR, G. J. & B., Y. (1995) Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. Prentice Hall.
- KOLODNER, J. (1992) An Introduction to Case Based Reasoning. Artificial Intelligence Review 6 ed.
- LARMAN, C. (1999) *UML y Patrones. Introducción al análisis y diseño orientado a objetos*, Mexico.
- LEÓN, M. (2007) Ingeniería del Conocimiento Automatizada en la creación del Modelo del Estudiante de los Sistemas de Enseñanza- Aprendizaje Inteligentes *Departamento de Ciencias de la Computación*. Santa Clara. Cuba, Universidad Central: " Marta Abreu" de las Villas.
- LÓPEZ, F., LOYOLA, O. & SILVA, A. (2004) *Cuba y su Historia*, La Habana. Cuba, Editorial Félix Varela.
- MAGDALENO, D. (2006) Selección de rasgos a partir de grupos homogéneos de documentos. *Inteligencia Artificial*. Santa Clara. Cuba, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- MORALES, L. G. (2002) Introducción a la lógica difusa.
- PANIAGUA, A. B. (1999) Tutorial de XML.

- PEDRYCZ, W. & COMIDE, F. (1998) An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design.
- PICHARDO, H. (1969) *Documentos para la Historia de Cuba*, La Habana. Cuba, Editorial de Ciencias Sociales.
- PRESSMAN, R. S. (1998) Ingeniería del Software. Un enfoque práctico.
- RUÍZ, N. M. (2001) Estudio de la Vaguedad en los Sistemas de Bases de Datos Orientados a Objetos: Tipos Difusos y sus Aplicaciones. *Ciencias de la Coputación e Inteligencia Artificial*. Granada, Universidad de Granada.
- RUSSELL, S. & NORVIG, P. (2002) Artificial Intelligence: A Modern Approach.
- SEYMOUR, P. (1981) Desafío a la Mente. Computadoras y Educación. . Ediciones Galápagos ed.
- THIELE, H. (1997) "A characterization of arbitrary Ruspini partitions by fuzzy similarity relations." Fuzzy Systems, Proceedings of the Sixth IEEE International Conference.
- TRILLAS, E., ALSINA, C. & TERICABRAS, J. M. (1995) Introducción a la lógica borrosa.
- ZADEH, L. A. (1965) "*Fuzzy Sets*". *Information and Control*.
- ZADEH, L. A. (1975) The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning.
- ZADEH, L. A. (1983) A Computational Approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Language. Computing and Mathematics with Applications.
- ZADEH, L. A. (1994) The Fuzzy Systems Handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems.

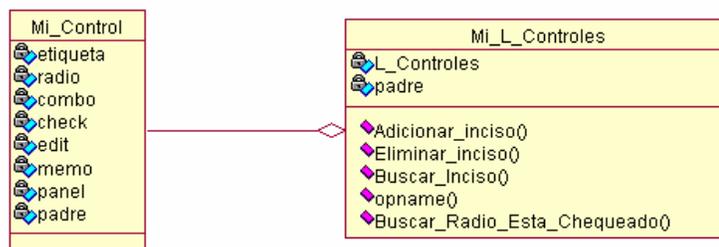
ZADEH, L. A. (2000) From Computing with Numbers to Computing with Words-From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions. Intelligent Systems and Soft Computing.

## ANEXOS

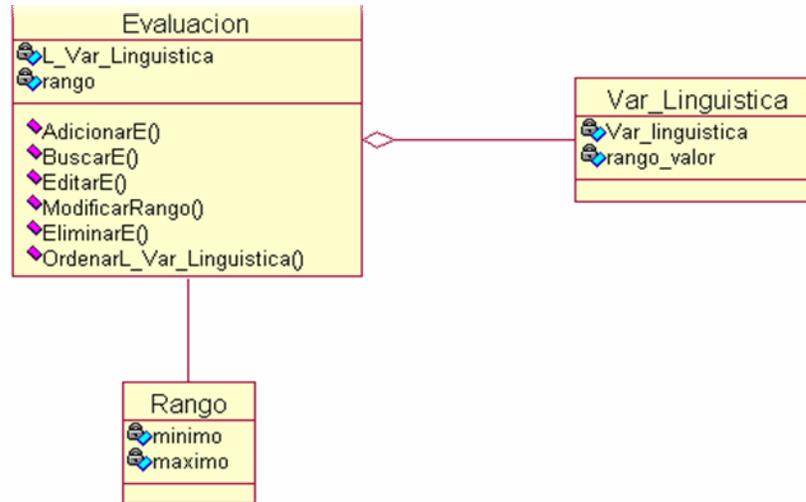
### Anexo #1: Diagrama de clases de las preguntas implementadas en EPED.



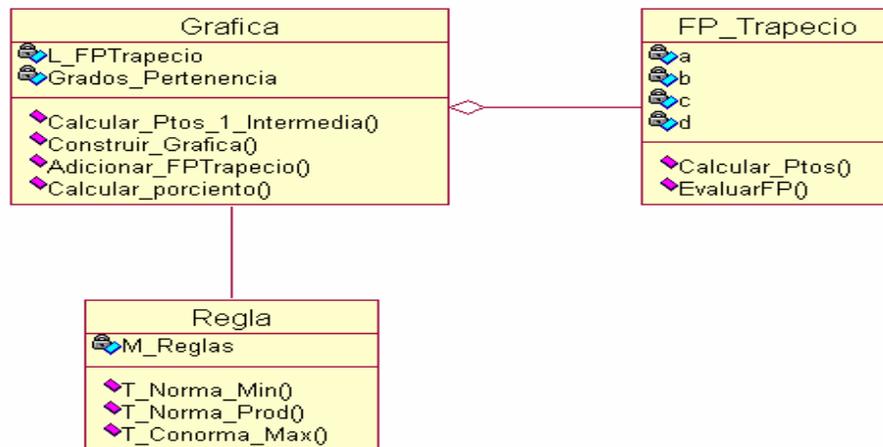
### Anexo #2: Diagrama de clases para la visualización en tiempo de ejecución de los incisos en EPED.



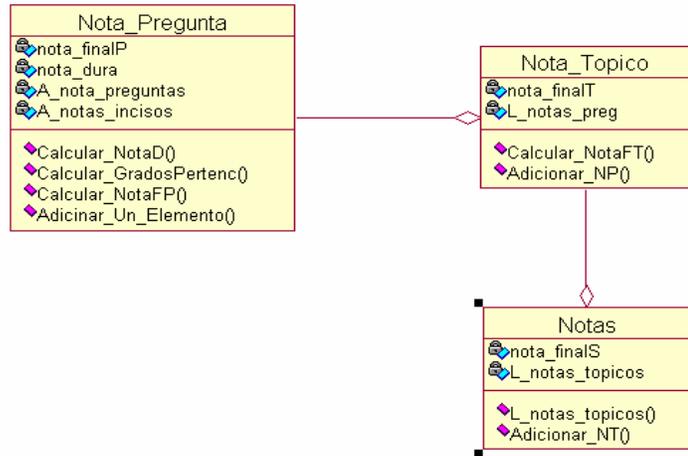
**Anexo #3: Diagrama de clases de para el almacenamiento de la evaluación definida por el profesor en EPED.**



**Anexo #4: Diagrama de clases para la implementación del Sistema de Inferencia Difuso utilizado EPED para la modelación de la evaluación.**



**Anexo #5: Diagrama de clases para la obtención de la evaluación.**



**Anexo #6: Validación de EPED.**

Casos	max-prod			max-min			Experto humano
	Mal	Regular	Bien	Mal	Regular	Bien	
1	0	0	1	0	0	1	100
2	0	0.1	0.9	0	0.2	0.8	90
3	0	0.7	0.3	0	0.7	0.3	70
4	0	0	1	0	0.1	0.9	95
5	0	0.1	0.9	0	0.1	0.9	95
6	0.2	0.3	0.5	0.4	0.6	0	65
7	0	0.6	0.4	0.1	0.5	0.4	78
8	0.7	0.3	0	0.4	0.6	0	60
9	0.1	0.3	0.6	0	0.5	0.5	85
10	0	0.2	0.8	0	0.2	0.8	90
11	0.3	0.7	0	0.8	0.2	0	45
12	0.7	0.2	0.1	0.7	0.3	0	50
13	0.9	0.1	0	1	0	0	37

**Anexo #7: Pregunta Verdadero o Falso de EPED para el usuario Estudiante.**

Responder Verdadero o Falso

Seleccione Verdadero (V) o Falso (F)

a)  Con la Guerra del 68 se logró abolir la esclavitud uno de los objetivos de la lucha.

b)  El Manifiesto del 10 de Octubre constituyó el programa de la revolución y fue la primera declaración de independencia de Cuba.

c)  La Asamblea de Jimaguayú fue un paso significativo para el logro de la unidad del movimiento independentista.

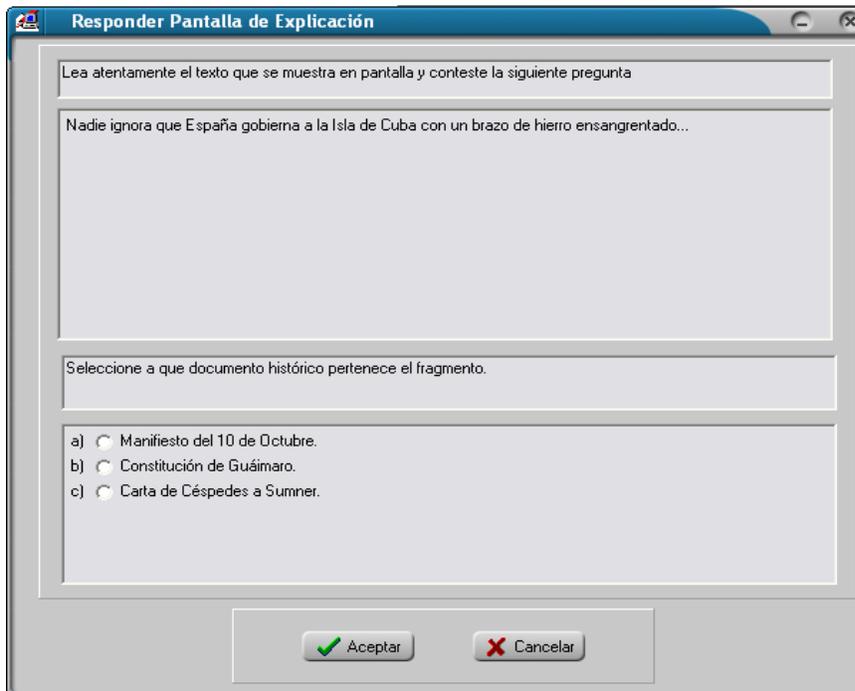
**Anexo #8: Pregunta Relacionar Columnas de EPED para el usuario Estudiante.**

Responder Relacionar Columnas

Relacione los hechos de la columna A con la columna B.

Columna A	Columna B
1. Manifiesto de Montecristi.	a) <input type="checkbox"/> Digna respuesta del pueblo cubano a la prepotencia y al desprecio norteamericano hacia los hombres del ejército mambí.
2. Constitución de Jimaguayú.	b) <input type="checkbox"/> Se consideró el programa político de la lucha en esta etapa y recoge los objetivos, principios y organización del movimiento independentista.
3. Constitución de La Yaya.	c) <input type="checkbox"/> Se consideró un paso de retroceso en su momento a pesar de mantener la unidad ya que el mando civil volvió a tener un poder determinante.
4. Carta de Calixto García a Shafter.	d) <input type="checkbox"/> Fue un paso de avance en lo que respecta a la organización gubernamental, ajustándose a las condiciones y realidad cubana.

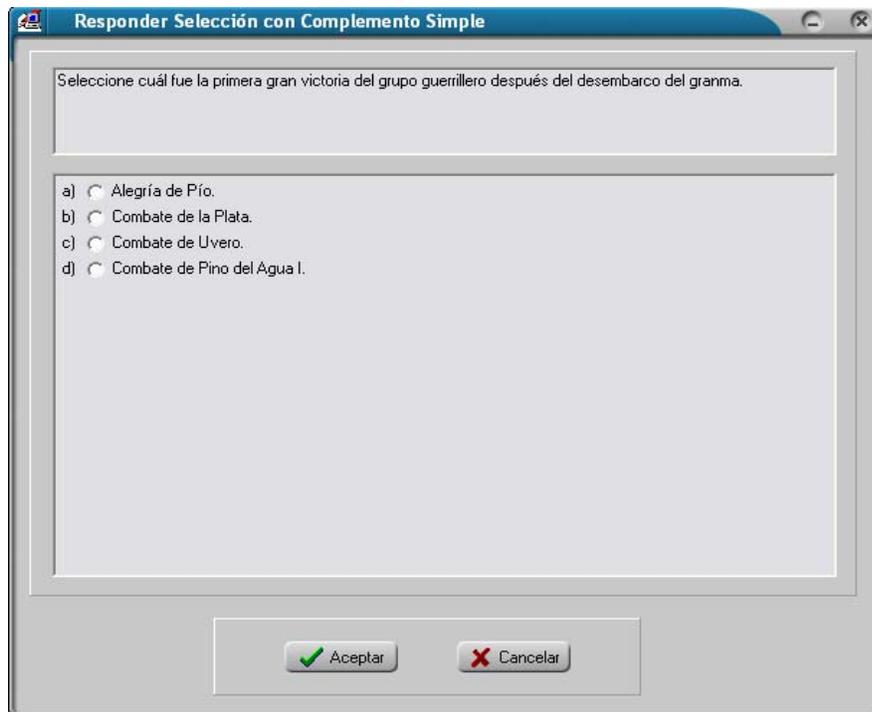
**Anexo #9: Pregunta Pantalla de Explicación de EPED para el usuario Estudiante utilizando texto.**



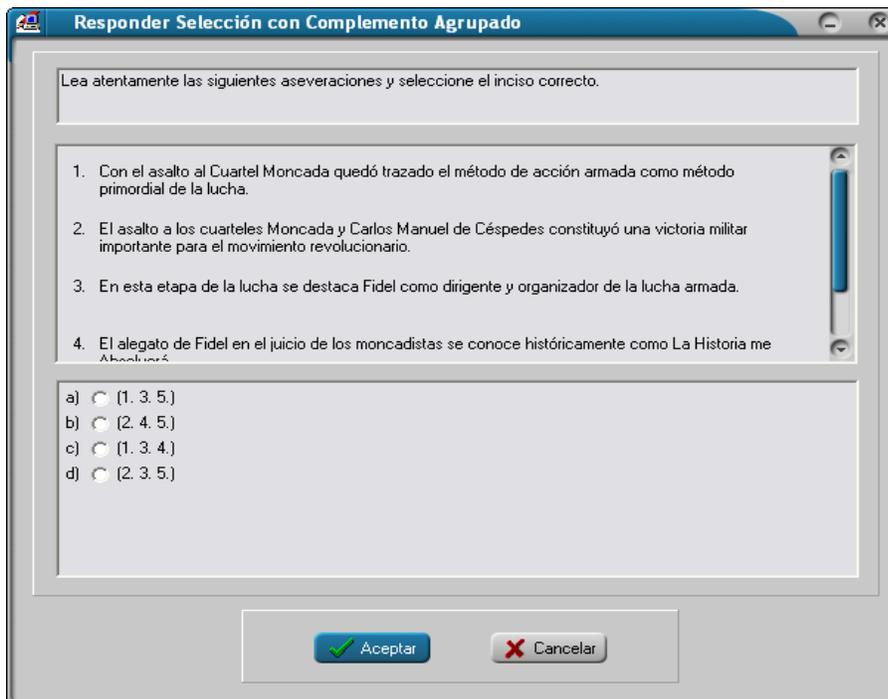
**Anexo #10: Pregunta Pantalla de Explicación de EPED para el usuario Estudiante utilizando imagen.**



**Anexo #11: Selección Simple Complemento Simple de EPED para el usuario Estudiante.**



**Anexo #12: Selección Simple Complemento Agrupado de EPED para el usuario Estudiante.**



## Anexo #13: Prueba de Historia aplicada en la validación de EPED

Nombre del SEAI: **Historia de Cuba**

Nombre del Tópico #1: **Guerra del 68. Inicio de la Lucha contra el dominio colonial español.**

Pregunta #1:

Conteste Verdadero (V) o Falso (F).

- a) F Con la Guerra del 68 se logró abolir la esclavitud uno de los objetivos de la lucha.
- b) V El Manifiesto del 10 de Octubre constituyó el programa de la revolución y fue la primera declaración de independencia de Cuba.
- c) V La Asamblea de Jimaguavú fue un paso significativo para el logro de la unidad del movimiento independentista.

Pregunta #2:

Lea atentamente las palabras que se muestran en pantalla y seleccione con una "X" a que documento histórico pertenece el fragmento:

Nadie ignora que España gobierna a la Isla de Cuba con un brazo de hierro ensangrentado...

- X Manifiesto del 10 de Octubre.
- Constitución de Guáimaro.
- Carta de Céspedes a Sumner.

Nombre del Tópico #2: **Guerra del 95. Reinicio de la Lucha por la Liberación Nacional.**

Pregunta #1:

**Columna A**

- 1. Manifiesto de Montecristi.
- 2. Constitución de Jimaguayú.
- 3. Constitución de La Yaya.
- 4. Carta de Calixto García a Shafter.

**Columna B**

- 4 Digna respuesta del pueblo cubano a la prepotencia y al desprecio norteamericano hacia los hombres del ejército mambi.
- 1 Se consideró el programa político de la lucha en esta etapa y recoge los objetivos, principios y organización del movimiento independentista.
- 3 Se consideró un paso de retroceso en su momento a pesar de mantener la unidad ya que el mando civil volvió a tener un poder determinante.
- 2 Fue un paso de avance en lo que respecta a la organización gubernamental, ajustándose a las condiciones y realidad cubana.

**Pregunta #2:**

Conteste Verdadero (V) o Falso (F).

- a)  V  Los objetivos de la Guerra del 95 eran lograr la independencia y establecer una República Democrática.
- b)  F  El carácter de la Guerra del 95 era Nacional, anticolonialista y antiesclavista.
- c)  V  La Guerra del 95 fue superior cualitativamente a la del 68 debido a los objetivos, carácter, organización, extensión y logros alcanzados.

**Nombre del Tópico #3: A partir de 1953, inicio de una nueva fase de las luchas de nuestro pueblo.**

**Pregunta #1:**

Lea atentamente las siguientes aseveraciones y seleccione con una X el inciso correcto.

- 1. Con el asalto al Cuartel Moncada quedó trazado el método de acción armada como método primordial de la lucha.
- 2. El asalto a los cuarteles Moncada y Carlos Manuel de Céspedes constituyó una victoria militar importante para el movimiento revolucionario.
- 3. En esta etapa de la lucha se destaca Fidel como dirigente y organizador de la lucha armada.
- 4. El alegato de Fidel en el juicio de los moncadistas se conoce históricamente como La Historia me Absolverá.
- 5. La Historia me Absolverá es un importante documento redactado por Fidel para dirigir y organizar la lucha revolucionaria.

- a)   (1, 5, 3)
- b)   (2, 4, 5)
- c)  X  (1, 3, 4)
- d)   (2, 3, 5)

**Pregunta #2:**

Seleccione con una X cuál fue la primera gran victoria del grupo guerrillero después del desembarco del granma:

- a)   Alegría de Pío.
- b)  X  Combate de la Plata.
- c)   Combate de Uvero.
- d)   Combate de Pino del Agua I.