

# Sistema experto como herramienta de apoyo en el aprendizaje de tópicos de Cálculo

Elena Fabiola Ruiz Ledesma, Jossue Desiderio Hernández González, Rosaura Palma Orozco  
Escuela Superior de Cómputo. Instituto Politécnico Nacional.

México

elen\_frui@yaho.com.mx, josdesi@gmail.com, rpalma@math.cinvestav.mx

**Resumen.** Los sistemas expertos son herramientas que pueden diagnosticar y apoyar el desarrollo del aprendizaje de los estudiantes, ayudando a mejorar sus debilidades una vez que han determinado su nivel cognoscitivo. El presente trabajo pretende desarrollar un sistema experto como herramienta de apoyo para la enseñanza de algunos temas de Cálculo, empleando redes bayesianas como motor de inferencia y registros de representación semiótica para la base del clasificador probabilístico. Se distinguen dos etapas: la primera consiste en diagnosticar ciertas debilidades en el estudiante; la segunda permite enfatizar la forma en la que se tratarán los aspectos relacionados con el aprendizaje y la manera en que serán presentados los tópicos del área a reforzar.

**Palabras clave:** Sistema experto, redes bayesianas, registros de representación semiótica, clasificador probabilístico.

## 1. Introducción

El aprendizaje basado en sistemas de cómputo tradicionales y dispositivos móviles convergen en su uso en lo que se denomina *Aprendizaje Móvil*, o *M-learning*, por su término en inglés, ya que este permite a los usuarios mantenerse conectados con el ambiente de aprendizaje, los recursos de aprendizaje, los miembros de la comunidad educativa, como maestros y estudiantes, sin importar dónde se encuentren (Kurbel y Hilker, 2002). Así, el proceso de aprendizaje ya no está atado a un lugar físico determinado y depende primordialmente de la voluntad del alumno para acceder a los recursos de aprendizaje. El problema surge cuando el estudiante no tiene la suficiente motivación para abordar contenidos que ofrecen algunos sistemas existentes, ya sea por tener ejercicios muy complejos, o, por el contrario, muy sencillos, o por no contar con una variedad de actividades que le ayuden a comprender los conceptos debido a que están presentadas de una única manera para todos los estudiantes, aun cuando cada uno de ellos puede tener diferentes estilos para aprender, como lo señalan Felder y Silverman, 1988.

Las aplicaciones de los sistemas de aprendizaje son bastante amplias, existen diversas plataformas e-learning que permiten estructurar contenidos basándose en una gran variedad de recursos multimedia, no obstante, presentan cada elemento de forma estática, no toman

---

Recepción: 15 de septiembre 2016 - Aceptación 17 de octubre 2016.

decisiones ni determinan que elemento visualizar en un momento determinado; no verifican cual es el más adecuado, tampoco supervisan de manera razonable el progreso del usuario. Este hecho justifica el estudio de áreas como la inteligencia artificial aplicadas al aprendizaje dentro del marco de e-learning, ya que en un sin número de contextos se ha demostrado su eficiente funcionamiento (Micarelli, Stamper and Panourgia, K. 2016).

El campo de los sistemas expertos (también asociados a sistemas de representación de conocimiento o ingeniería de conocimiento) son una parte importante del campo de la Inteligencia Artificial. En particular representan el conocimiento del experto en el dominio (especialista del área), siendo empleados, inclusive, como herramienta por el mismo experto (Henderson, H. 2003).

Como parte de la investigación reportada en el presente artículo, se realizó una encuesta a una muestra del 50% del total de estudiantes de la Escuela Superior de Cómputo (ESCOM), una Unidad Académica del IPN, y se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Los estudiantes, en general, están familiarizados con los conceptos de *E-learning* y *M-learning*,
2. Más del 80% de la muestra considera que una aplicación en línea, que apoye el aprendizaje, podría ayudar en su propio proceso de aprendizaje,
3. El 90% de los alumnos expresaron la voluntad de encontrar más información sobre el uso de dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje.
4. Más del 80% de los estudiantes han reprobado alguna materia de formación básica (Matemáticas o Física) y consideran que sería de mucha utilidad contar con un sitio que les permita resolver problemas y practicar lo aprendido en clase, porque esto les permitiría enfrentar de mejor forma los exámenes que resuelven en sus cursos presenciales.

En este estudio también se encontró que los estudiantes conocen algunos sitios en Internet que ofrecen recursos ya sea para reforzar el conocimiento, como videos que explican la resolución de problemas, o para practicar lo aprendido, mediante ejercicios para resolver, pero señalan que no se adapta a su nivel ya que los problemas son de igual grado de dificultad para todos los usuarios y opinan que ellos quisieran resolver ejercicios y problemas fáciles en un inicio y que el grado de complejidad vaya aumentando. También opinan que se sentirían más tranquilos si hay una supervisión de lo que hacen para poder revisar su avance.

El presente trabajo pretende desarrollar una herramienta de apoyo para la enseñanza de algunos tópicos que se trabajan en el Cálculo, empleando redes bayesianas como motor de inferencia y para la determinación de los perfiles de los estudiantes se considerarán los registros de representación semiótica (Duval, 1998), que constituirán la base del clasificador probabilístico.

## 2. Sistemas Expertos

Un sistema experto puede definirse como un sistema informático que simula a los expertos humanos en un área de especialización dada. Como tal, un sistema experto debería ser capaz de procesar y memorizar información, aprender y razonar en situaciones

deterministas e inciertas, comunicarse con los usuarios y/u otros sistemas expertos, tomar decisiones apropiadas, y explicar por qué se han tomado tales decisiones.

Esta clase de sistemas codifican una base de conocimientos y reglas de razonamiento para determinar o concluir la solución de un problema particular. Se encuentran formados por diversas partes vinculadas entre sí: una base de reglas, una base de hechos, un motor de inferencia y una interfaz de usuario (Sun and Liu, 2013). La figura 1 muestra la composición tradicional de un sistema experto.

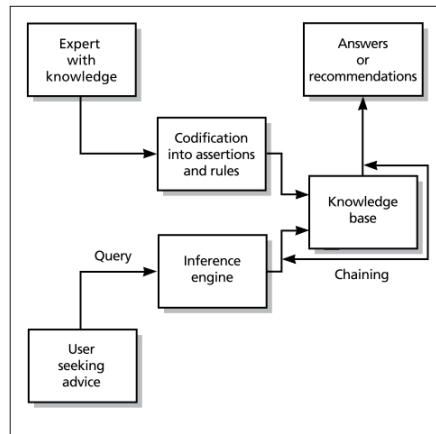


Fig. 1. Anatomía de un Sistema Experto.

El conocimiento del experto en el dominio es representado por la base de reglas que generalmente son de la forma  $R_i : Pr(x) \Rightarrow C(x)$ , donde  $Pr(x)$  es una premisa y  $C(x)$  una conclusión. Las condiciones de aplicación de una regla son las premisas y los nuevos conocimientos son conclusiones.

### 2. Motor de inferencia: Redes Bayesianas

Los motores de inferencia emplean reglas de diversas formas, en particular, el método de razonamiento estará basado en clasificación probabilística con Redes Bayesianas. Éste método se caracteriza por tener una representación multivariable de los datos a tratar, lo que permite describir complejas relaciones de ciertos elementos de forma probabilística y no lineal, representan relaciones causales, por lo que permiten el manejo de incertidumbre en eventos no observados (Cardozo and Arguello, 2011).

Una red bayesiana representa una distribución de probabilidad conjunta en una 4-tupla  $(G, f_x, Q, \theta)$ , donde:

- $(G, f_x, Q)$  es una Red Causal.
- $G$  es un dígrafo acíclico.

- El conjunto  $x$  de nodos  $G$  está definido por  $\{x_i | i \leq n\}$ , de variables aleatorias con  $r$  estados posibles y  $\Theta$  es un conjunto  $\{\theta_i | i \leq n\}$ .

Por lo que la expansión de la distribución conjunta es:

$$P(Y|f, \dots, f_N) \simeq \prod_{i=1}^N p(f_i|Y) \cdot P(Y) \dots\dots\dots(1)$$

Para obtener la probabilidad a posteriori de cómo puede ser el estado de las variables de una Red Bayesiana se emplea el Teorema de Bayes.

### 3.1 Clasificadores probabilísticos como aprendizaje artificial

El aprendizaje, desde la perspectiva de la Inteligencia Artificial, se considera como un proceso de inducción del conocimiento que permite generalizar comportamientos a partir de una información no estructurada, suministrada en forma de ejemplos incorporando el diseño de soluciones factibles a problemas a través del estudio de la complejidad computacional de éstos.

El análisis computacional y de rendimiento de los algoritmos de aprendizaje automático es una rama de la estadística conocida como Teoría Computacional del Aprendizaje. Los diferentes algoritmos de aprendizaje automático se agrupan en una taxonomía en función de la salida de los mismos. Algunos tipos de algoritmos son (Russell and Norvig, 2009):

- **Aprendizaje supervisado.** El algoritmo produce una función que establece una correspondencia entre las entradas y las salidas deseadas del sistema. Un ejemplo de este tipo de algoritmo es el problema de clasificación, donde el sistema de aprendizaje trata de etiquetar (clasificar) una serie de vectores utilizando una entre varias categorías (clases). La base de conocimiento del sistema está formada por ejemplos de etiquetados anteriores. Este tipo de aprendizaje puede llegar a ser muy útil en problemas de investigación biológica, Biología Computacional y Bioinformática.
- **Aprendizaje no supervisado.** Todo el proceso de modelado se lleva a cabo sobre un conjunto de ejemplos formado tan sólo por entradas al sistema. No se tiene información sobre las categorías de esos ejemplos. Por lo tanto, en este caso, el sistema tiene que ser capaz de reconocer patrones para poder etiquetar las nuevas entradas.
- **Aprendizaje semisupervisado.** Este tipo de algoritmos combinan los dos algoritmos anteriores para poder clasificar de manera adecuada. Se tiene en cuenta los datos marcados y los no marcados.
- **Aprendizaje por refuerzo.** El algoritmo aprende observando el mundo que le rodea. Su información de entrada es la retroalimentación que obtiene del mundo

exterior como respuesta a sus acciones. Por lo tanto, el sistema aprende a base de ensayo-error.

- **Transducción.** Similar al aprendizaje supervisado, pero no construye de forma explícita una función. Trata de predecir las categorías de los futuros ejemplos basándose en los ejemplos de entrada, sus respectivas categorías y los ejemplos nuevos al sistema.
- **Aprendizaje multi-tarea.** Métodos de aprendizaje que usan conocimiento previamente aprendido por el sistema de cara a enfrentarse a problemas parecidos a los ya vistos.

### 3.2. Registros de representación semiótica

Las representaciones semióticas son representaciones que emplean signos, que pueden ser expresados en un lenguaje natural o en las fórmulas algebraicas, gráficas o figuras geométricas. Esas representaciones semióticas son el medio a través del cual una persona puede exteriorizar sus representaciones mentales con el fin de hacerlos visibles o accesibles a otros. La capacidad de cambiar los registros de representación semiótica es necesaria en el aprendizaje de las funciones, así como la importancia de la coordinación de los diferentes registros de representación semiótica. Muchas de las dificultades experimentadas por los estudiantes puede ser descrito y explicado como una falta de coordinación entre los registros de representación, en particular, del gráfico, numérico y algebraico (Duval, 1998).

### 4. Metodología

El sistema experto cuenta con diversos componentes, módulos y entidades persistentes. Se trabajan problemas de razón de cambio relacionadas, problemas de diferenciales de una función, así como de optimización (todos tópicos de Cálculo), y se interactúa con el alumno a través de un tutor virtual, que le indica el procedimiento a seguir en todo momento (Woolf, 2009). Como se aprecia en la figura 2, el estudiante comienza por acceder al módulo pretest, donde se le presenta una prueba de diagnóstico que, a través de diversos reactivos, evalúa las habilidades y deficiencias del alumno.

La figura 3 muestra un ejemplo de la interfaz gráfica de usuario (GUI) proporcionada al estudiante para trabajar con el pretest. Esta interfaz facilita al usuario los siguientes elementos: el enunciado del problema, una imagen descriptiva, diversas opciones a elegir como respuesta al problema y mecanismos de almacenamiento recurrente asíncrono.

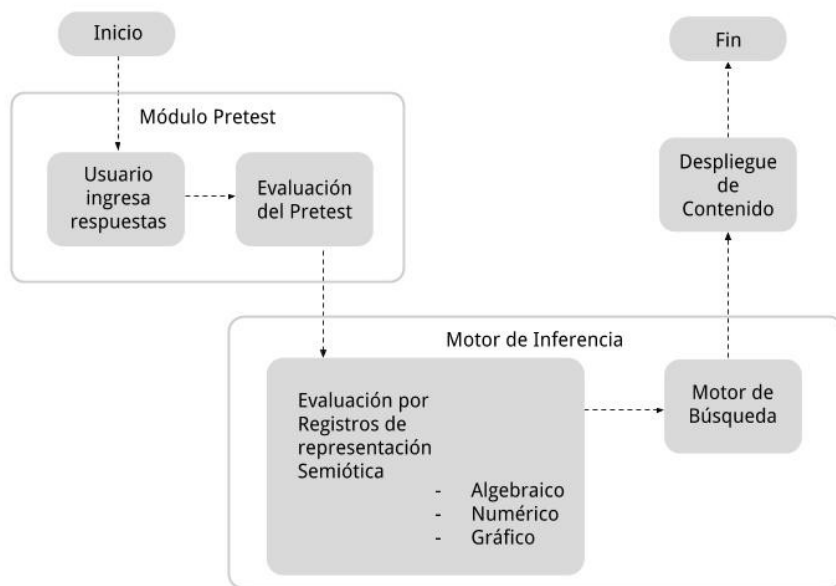


Fig. 2 Flujo de acción del usuario con el sistema experto.

Fuente: Elaboración propia apoyada en (Woolf, 2009).

El diagrama muestra un círculo y un punto fijo P en el círculo. Líneas PQ se han extraído de P a los puntos Q en el círculo y se extienden en ambas direcciones. Tales líneas a través de un círculo se llaman secantes, y algunos ejemplos se muestran en el diagrama.

(a) ¿Cuántas secantes diferentes podrían ser dibujadas, además de las del diagrama?

4  
 N  
 Infinitas  
 2

Fig. 3 GUI del pretest para un registro de representación gráfico.

Para determinar en qué registro de representación semiótica se tiene la mayor eficiencia se asigna un puntaje de acuerdo a la complejidad del reactivo. La evaluación se efectúa en el motor de inferencia empleando clasificación probabilística a partir de redes Bayesianas.

El motor de búsqueda toma el resultado obtenido de la inferencia realizada y crea una estructura de datos arborescente a partir de una colección de estructuras asociativas que enlazan recursos, actividades y materiales didácticos. Ésta colección está almacenada en una base de datos. Por último se efectúa una búsqueda exhaustiva para determinar la ruta óptima de aprendizaje, es decir, el conjunto de actividades sugerido para el estudiante.

### 5. Descripción del sistema

El sistema experto se compone de un conjunto de aplicaciones y servicios web que se acoplan en los siguientes módulos:

- **Usuarios.** En este módulo el usuario cuenta con la posibilidad de crear su cuenta, administrar su perfil, cambiar datos personales y configurar sus preferencias. Para la creación de una cuenta se requiere de un nombre de usuario, una cuenta de correo electrónico y una contraseña de al menos 6 caracteres alfanuméricos. El sistema únicamente acepta cuentas de correo válidas y no admite nombres de usuario existentes. Una vez que se crea la cuenta el sistema le asigna por default el rol de estudiante y notifica la creación de la cuenta al usuario vía email. El módulo de usuarios también cuenta con la posibilidad de crear cuentas con otros roles con diferentes niveles de acceso. El administrador del sistema es el único usuario con privilegios para la creación de cuentas con el rol de profesor y supervisor. Éste módulo se encarga de controlar el acceso restringido al sistema.
- **Control de estudiantes.** Permite dar seguimiento al progreso del estudiante mediante el monitoreo de accesos al sistema y la visualización de registros de actividades y pretests presentados. Proporciona al usuario con el rol de profesor la posibilidad de generar reportes y estadísticas que muestren el comportamiento del estudiante en la plataforma. Los roles de supervisor y administrador cuentan con privilegios en éste módulo por default.
- **Administración.** El usuario con rol de administrador es el único con acceso a este módulo. Permite la gestión de módulos secundarios y componentes específicos del motor de búsqueda y de inferencia. Posibilita la creación de cuentas con roles de mayor privilegio y el monitoreo de actividad de las mismas. La gestión de roles y los privilegios asociados a cada rol son gestionados en esta sección. También posibilita al administrador la programación de tareas frecuentes.
- **Gestión de Pretests.** Desde este módulo se gestiona la creación, edición, consulta y eliminación de pruebas de evaluación para el estudiante. El rol de profesor cuenta con los privilegios para acceder a éste módulo. Mediante su uso se facilita el monitoreo de la actividad asociada de cada alumno con su respectivo pretest. Además permite la visualización de los puntajes obtenidos para cada registro de representación mediante el acceso al histórico de evaluaciones. También es posible la creación y edición de preguntas para cada pretest, y la generación de reportes y estadísticas.
- **Gestión de Contenidos.** Posibilita la administración de actividades, recursos y materiales de aprendizaje permitiendo la creación y edición de rutas de contenidos. Estas rutas serán empleadas por el motor de búsqueda para determinar la ruta de aprendizaje que se adapte al perfil de cada estudiante. El motor de inferencia es el encargado de componer el perfil basándose en los registros de representación semiótica.
- **Registros de actividad y backups.** Este módulo cuenta con herramientas que permiten la exportación de registros almacenados en la base de datos a través de la programación de backups totales o parciales en texto plano con formato sql. Por

default, el usuario administrador tiene acceso al módulo de backups, no obstante, es posible habilitar la exportación en formato excel de los registros de actividad y resultados de pruebas de evaluación para otros usuarios. De igual forma, el módulo cuenta con la funcionalidad para la auditoria de registros de actividad de todas las cuentas del sistema.

El motor de búsqueda toma el resultado obtenido de la inferencia realizada y crea una estructura de datos arborescente a partir de una colección de estructuras asociativas que enlazan recursos, actividades y materiales didácticos. Ésta colección está almacenada en una base de datos. Por último, se efectúa una búsqueda exhaustiva para determinar la ruta óptima de aprendizaje, es decir, el conjunto de actividades sugerido para el estudiante.

### 5. Arquitectura del sistema experto

Esta arquitectura abarca tanto la funcionalidad de negocio encapsulada como la estandarización de la comunicación de la infraestructura. El servicio es el componente central e implementa funciones de negocio.

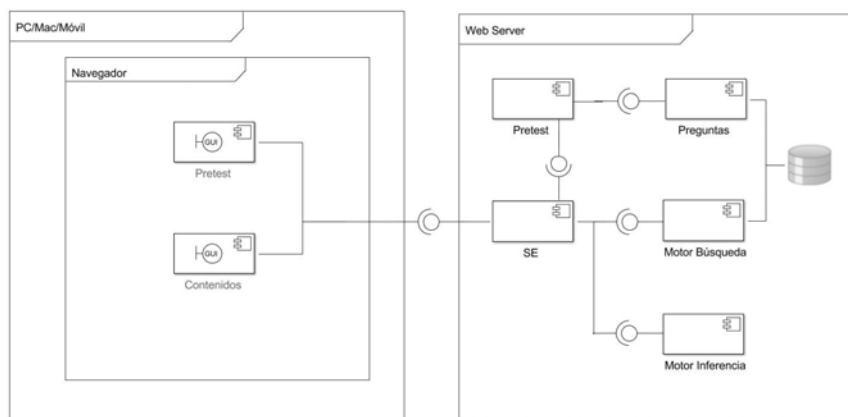


Fig. 4 Arquitectura del Sistema Experto.

Fuente: Elaboración propia apoyada en (Russell and Norvig, 2009).

Esta arquitectura abarca tanto la funcionalidad de negocio encapsulada como la estandarización de la comunicación de la infraestructura. El servicio es el componente central e implementa funciones de negocio.

Para SOA la funcionalidad se divide en servicios que se pueden encontrar distribuidos a través de diversos nodos en una red, y que a su vez se combinan para alcanzar un resultado deseado. Estos servicios pueden ser coordinados por otros servicios o proporcionar datos a otros servicios.

Los servicios, por lo tanto, son los componentes fundamentales de cualquier arquitectura SOA, reemplazan en gran parte las funcionalidades de las aplicaciones convencionales y se



caracterizan por presentar un bajo grado de acoplamiento, implementar funciones de negocio y ser componentes aislados que definen sus interfaces independientes de los entornos técnicos de implementación. Se cuentan con dos tipos de comunicación entre servicios:

- Modelo de orquestación. Define el comportamiento y la forma de llevar a cabo los eventos de manera que son supervisados centralmente.
- Modelo de coreografía. Se fundamenta en el comportamiento que debe observarse antes de que ambas partes se comuniquen.

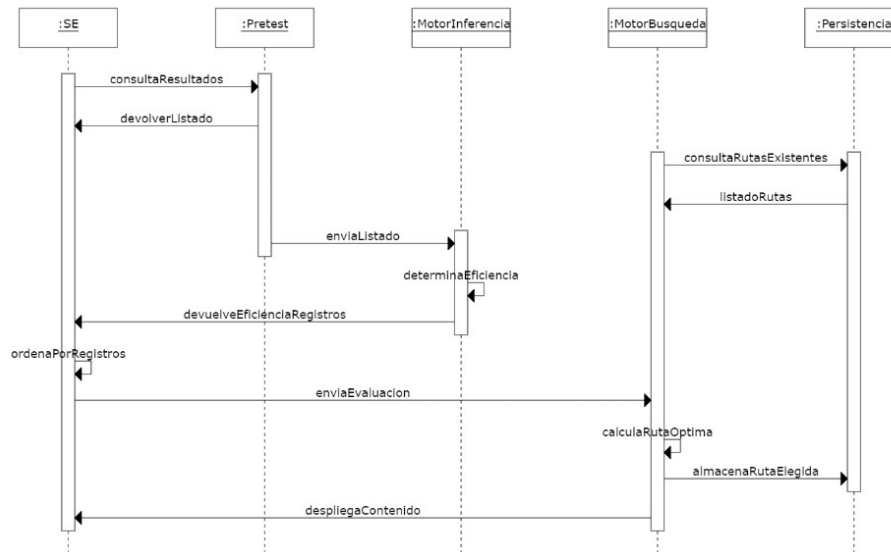


Fig. 5 Secuencia de clasificación y toma de decisiones.

Fuente: Elaboración propia apoyada en (Nilsson, 2009)

Los servicios en una arquitectura basada en SOA tienen que cumplir con lo siguiente:

- Ser reutilizables.
- Proporcionar un contrato formal.
- Estar débilmente acoplados.
- Procurar “composición”.
- No pueden tener estado.
- Deben ser descubiertos para poder ser utilizados o consumidos.

SOA se basa en estándares abiertos como XML, JSON, SOAP, WSDL, REST, BPEL, etc. En particular REST es una técnica arquitectónica sin estado, que trabaja directamente con el protocolo HTTP, lo que significa que los recursos que realizan las peticiones (recursos que consumen e servicio) únicamente cuentan con una imagen del sistema formado por el recurso hacia el que realiza la petición a través del conector respectivo, es decir, una petición cliente-servidor es independiente de las siguientes peticiones.

REST será el protocolo empleado para el desarrollo arquitectónico del componente distribuido del framework propuesto.

### 5. Experiencia

Se trabajó con un grupo de 30 estudiantes de nivel superior, quienes iniciaban su curso de Cálculo. Estos estudiantes se registraron en el sistema y resolvieron un cuestionario, el cual les permitió determinar su preferencia por el registro de representación con el que están más acostumbrados a trabajar. Una vez que se les ubicó en uno de los tres perfiles: algebraico, numérico y gráfico, el sistema asignó recursos a cada estudiante, de acuerdo a su perfil, con la finalidad de que los estudiantes se sintieran cómodos resolviendo los problemas asignados. Una vez resueltas las actividades, los alumnos subían el trabajo desarrollado como un archivo adjunto y en el sistema seleccionaban la respuesta presentada en incisos.

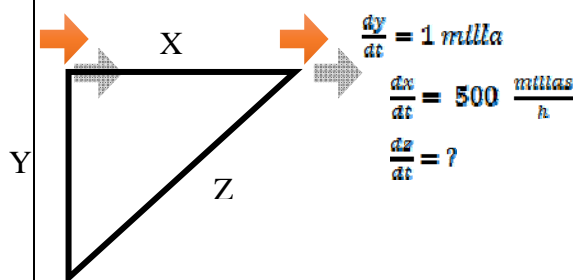
Posteriormente, el sistema proporciona a los estudiantes ejemplos de problemas resueltos, mediante simulaciones, empleando los tres registros, el gráfico, el numérico y el algebraico, para que el alumno pueda revisar la forma de obtener el mismo resultado empleando diferentes registros.

En la parte de recursos educativos digitales también hay una liga que re-direcciona a algún programa que permita al estudiante construir su propia simulación y aplicar los conocimientos empleados.

Finalmente el sistema da nuevos problemas a resolver por el alumno, ofreciéndole opciones de registros para emplear en su resolución.

En la figura 6 se muestra la resolución de un problema de razón de cambio empleando el registro algebraico y en la figura 7 se muestra la construcción de dicho problema usando un programa de geometría dinámica.

Un avión que vuela horizontalmente a una altitud de 1 milla y a una rapidez de 500 millas/h pasa directamente sobre una estación de radar. Calcule la rapidez a la cual la distancia desde el avión a la estación se incrementa cuando está a 2 millas de la estación.



Despejar a z de  $z^2 = x^2 + y^2$  para hallar su valor:

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} \Rightarrow z = \sqrt{(2)^2 + (1)^2} \Rightarrow z = \sqrt{5}$$

Derivando:

$$2z \frac{dz}{dt} = 2x \frac{dx}{dt}$$

Despejando a  $\frac{dz}{dt}$  y sustituyendo valores:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{z} \left( x \frac{dx}{dt} \right) \Rightarrow \frac{dz}{dt} = \frac{2(500)}{\sqrt{5}} \Rightarrow \frac{dz}{dt} = 447.21 \frac{\text{millas}}{\text{h}}$$

Figura 6. Problema de razón de cambio relacionada empleando el registro algebraico.

Fuente: Elaboración propia, empleando geogebra.

En el problema de la figura 7 se muestra cómo al usar el deslizador se va obteniendo la velocidad solicitada. Es decir se emplea el registro icónico para su representación. Lo interesante de este registro es que el estudiante construyó la simulación del problema, empleando un programa de geometría dinámica y verificó por este medio el procedimiento seguido en el registro algebraico.

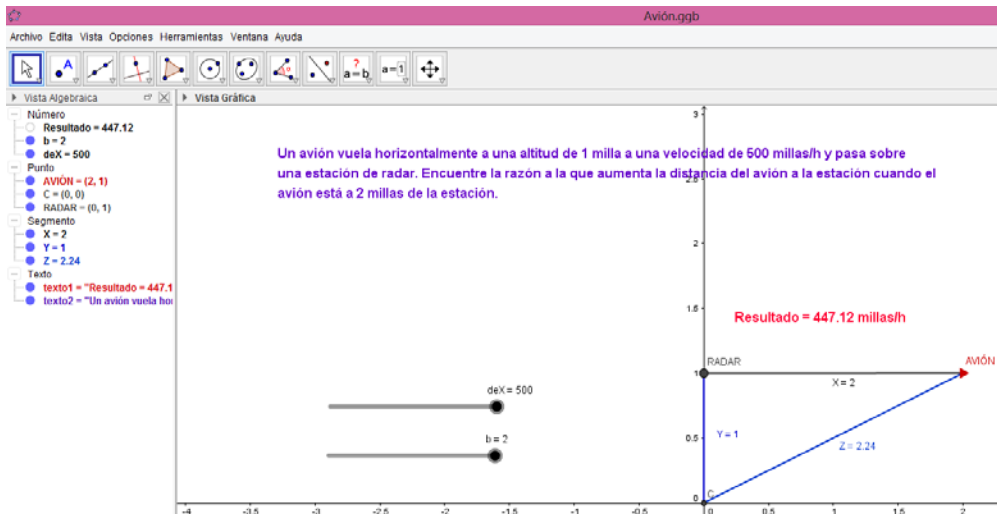
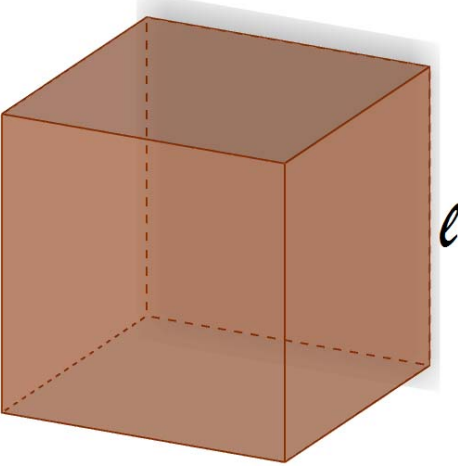


Figura 7. Problema de razón de cambio relacionada empleando el registro icónico.

Fuente: Elaboración propia, empleando Geogebra.

En la figura 8 se muestra otro ejemplo



Problema:

Cada lado de un cubo se incrementa a razón de  $2 \text{ cm/seg}$ . A qué velocidad cambia el volumen con respecto al tiempo del cubo en el momento que la arista mide  $5 \text{ cm}$

Solución:

$$V = l^3$$

$$\frac{dV}{dt} = 3l^2$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dl} \cdot \frac{dl}{dt}$$

$$\frac{dV}{dt} = (3l^2) \left( 2 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \right)$$

$$\frac{dV}{dt} = (3(5\text{cm})^2) \left( 2 \frac{\text{cm}}{\text{seg}} \right)$$

$$\frac{dV}{dt} = 150\text{cm}^3$$

$$\frac{dl}{dt} = 2 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

$$l = 5 \text{ cm}$$

$$\frac{dV}{dt} = ?$$

**Figura 8**

Empleando el programa de Geogebra los estudiantes pueden simular el problema trabajado en álgebra como se muestra en las figuras 9 y 10.

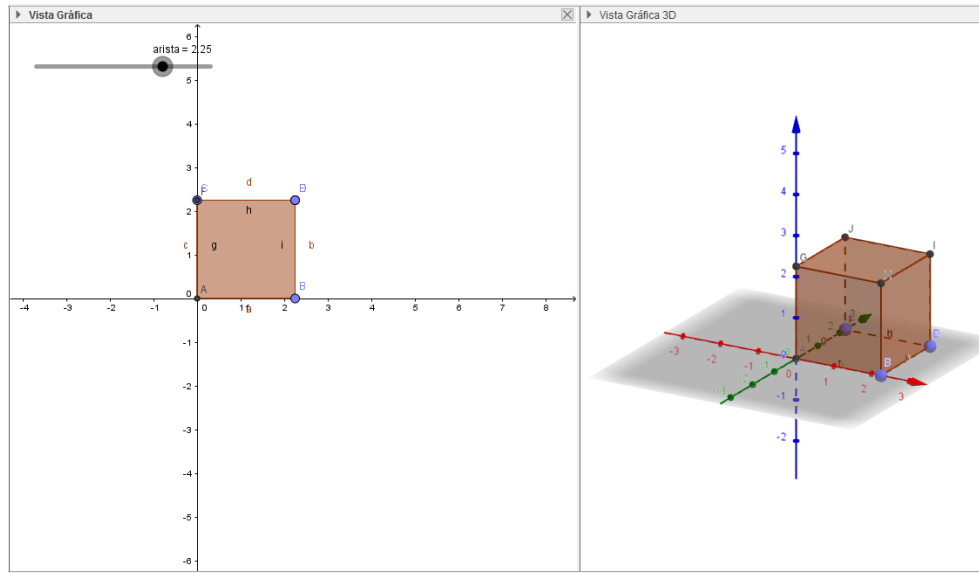


Figura 9. Representación mediante simulación del problema de razones de cambio relacionadas

Fuente: elaboración propia empleando geogebra.

Dado que en el problema se pide calcular la velocidad a la que cambia el volumen con respecto del cubo, y que previamente se había definido la siguiente expresión para calcularla:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dl} \cdot \frac{dl}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{dV}{dt} = (3l^2) \left( \frac{dl}{dt} \right) \dots\dots\dots(3)$$

Donde  $\frac{dl}{dt}$  es igual a la razón de cambio del lado respecto del tiempo.

Se ingresa dicha expresión y se le denomina velocidad, como se muestra en la figura



Fig. 10. Expresión de velocidad introducida en el programa de geogebra

Animando el deslizador “arista”, y ubicando el deslizador “razón” en 2, se nota que cuando la arista mide 5, el volumen crece a razón de 150 *cm³/seg*, que corresponde a lo que se obtuvo en el proceso algebraico, y si se cambia la velocidad a la que se incrementa el lado (razón), se obtienen también cambios en la velocidad.

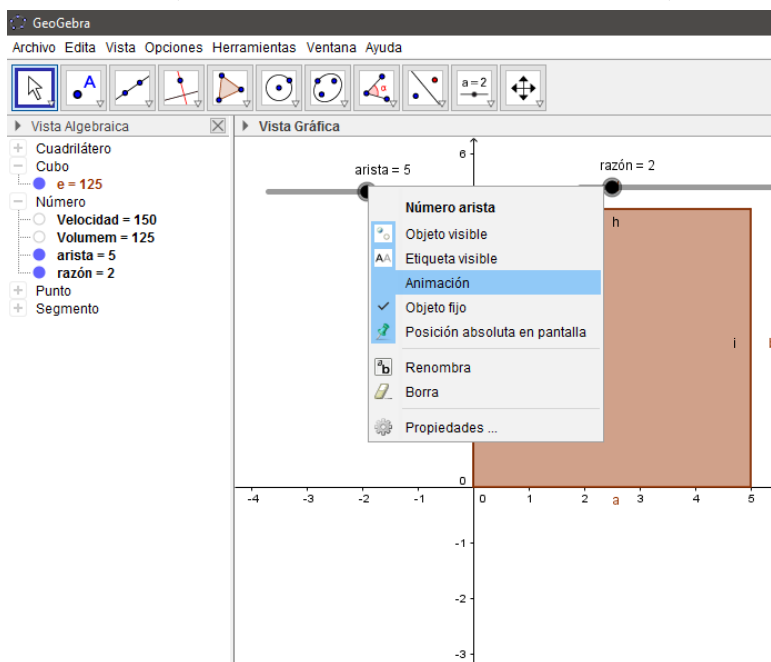


Figura 11. Se muestra uno de los submenús para proporcionar animación a la figura realizada en el programa.

## 5. Conclusiones

Emplear clasificadores probabilísticos para la implementación de motores de inferencia en un sistema experto, permite tener una representación multivariable de los datos a tratar, lo que a su vez muestra una descripción de complejas relaciones de ciertos elementos, considerando también, el manejo de incertidumbre. Al utilizar registros de representación semiótica (gráfico, numérico, icónico y algebraico) como elementos primarios de clasificación, se parametriza una forma apropiada de presentar los aspectos relacionados con las rutas de aprendizaje del área a reforzar en el estudiante.

## 6. Referencias Bibliográficas

- Cardozo E., and Arguello, H. (2011). Aprendizaje estructural de redes bayesianas: Un enfoque basado en puntaje y búsqueda. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 21, no. 1, p. 29.
- Duval, R. (1998). Registros de representación semiótica y funcionamiento cognitivo del pensamiento. *Investigaciones en Matemática Educativa II*, p. 173–201.
- Felder, R and Silverman, L. (1988) “Learning and Teaching Styles,” *Journal of Engineering Education*, Vol. 78, No.7, pp. 674-681.
- Henderson, H. (2003). Encyclopedia of computer science and technology. New York, NY: Facts On File.

## **Sistema experto como herramienta de apoyo en el aprendizaje de tópicos de Cálculo**

Kurbel, K., Hilker, J., (2002). Requirements for a mobile e-Learning Platform, IASTED Intl. Conf. on Commun., Internet and Information Technology, US Virgin Islands.

Micarelli, A., Stamper J., and. Panourgia, K. (2016). Intelligent Tutoring Systems.

Sun, T., Liu H. (2013). Design of Fault Diagnosis Expert System of Transformer. AMM, vol. 291-294, pp. 2557-2561, 2013.

Nilsson, N.J. (2009). Artificial Intelligence: A New Synthesis. The Morgan Kaufmann Series, San Francisco.

Russell, S., Norving, P. (2009). Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Woolf, B. (2009). Building intelligent interactive tutors. Amsterdam: Morgan Kaufmann Publishers/Elsevier.