

Automatic Mapping Magnetic Resonance Images into Multimedia Database Using SIFT

J. L. Reynoso, A. D. Cuevas, F. García and A. Guzmán, *Member, IEEE*

Abstract— This paper focuses on the representation of magnetic resonances of different parts of the human body, such as knees, spinal column, arms, elbows, etc., using ontologies. First, it maps the resonance images in a multimedia database. Then, automatically, using the SIFT pattern recognition algorithm, descriptors of the images stored in the database are extracted in order to recover useful data for the user; it uses the ontologies as an artificial intelligence tool and, in consequence, reduces generation of useless data. Why do we think this is an interesting task? Because, if the user requires information about any topics or (s)he has some illness or needs to undergo magnetic resonance, this tool will show him/her images and text to convey a better understanding, helping to obtain useful conclusions.

Artificial intelligence techniques are used, such as machine learning, knowledge representation, and pattern recognition.

The ontological relations introduced here are based on the common representation of language, using definition dictionaries, Roget's thesaurus, synonym dictionaries, and other resources. The system generates an output in the OM ontological language [1]. This language represents a structure where our system adds the data scanned by the SIFT algorithm. The tests have been made in Spanish; however, thanks to the portability of our system, it is possible to extend the method to any language.

Keywords— Artificial Intelligence, Ontology, Multimedia Database, Pattern Recognition, Magnetic Resonance.

I. INTRODUCCIÓN

ESTE proyecto de representación de la información a través de ontologías, analiza las imágenes de una base de datos multimedia, la cual contiene imágenes de tomografías, resonancia magnética de rodillas, brazos, columna vertebral (por citar algunas) con su descripción en texto y las ubica de manera automática en una ontología, que es nuestra base de conocimiento. Una ontología es un hipergrafo dirigido con vértices relacionados mediante aristas. En ella, un vértice representa un concepto o idea, mientras que un enlace representa la relación entre los vértices que une. Las características o propiedades de un concepto también se representan con aristas emanando del nodo correspondiente (Fig. 5). Nuestro sistema extrae imágenes de la base de datos multimedia, y coloca automáticamente cada imagen en el nodo correspondiente en la ontología, atendiendo a la categoría del objeto extraído. Esta ontología así enriquecida con imágenes es útil para consultas en comercio electrónico, aplicaciones

médicas, rostros de criminales, marcas registradas, imágenes satelitales, etc.

Para el reconocimiento de imágenes se usa el algoritmo SIFT (Scale Invariant Feature Transform) que extrae puntos clave que describen o modelan a los objetos en la escena [2]. Se construye un conjunto de entrenamiento que contiene los puntos clave extraídos de diferentes imágenes de objetos que se desean reconocer, en este caso, resonancias magnéticas de diferentes partes del cuerpo. En la fase de reconocimiento, a una imagen nueva se le extraen sus puntos clave y se comparan con los almacenados en el conjunto de entrenamiento para poder reconocer el objeto que aparece en la imagen. Es importante mencionar que los puntos clave son invariantes a la escala, rotación, pequeños cambios de iluminación y en la dirección de la vista, lo que hace que el reconocimiento sea robusto, hasta cierto punto.

Además del algoritmo de reconocimiento de patrones y la carga automática de las imágenes de acuerdo al concepto al que pertenece, una interfaz del sistema permite a un usuario no sofisticado poder consultar las características de cada concepto y con ello su imagen. Está dirigido por ejemplo a usuarios no especializados en temas de medicina o a estudiantes de medicina que, por fines didácticos, pueden buscar información sobre un padecimiento a lo cual, una interfaz presenta información en texto estructurado como la glosa del concepto, palabras, idiomas, propiedades o características, imagen, nodos antecesores y sucesores en la ontología.

La organización de este trabajo es la siguiente: En la sección I se presenta una introducción al tema, en la II se explica la principal idea que motivó nuestro desarrollo. En la sección III se presentan los conceptos básicos usados. La sección IV contiene los trabajos relacionados. En la sección V se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del sistema. La sección VI contiene pruebas con los ejemplos de resonancia magnética de rodilla y resonancia magnética de columna lumbar, cráneo, brazo, pierna y mama. En la sección VII se muestran los resultados obtenidos de acuerdo a textos e imágenes analizadas. Las conclusiones aparecen en la sección VIII.

II. CONTRIBUCIONES

Existen aplicaciones de visión por computadoras que describen problemas sintomáticos, como el mostrado en [3] donde se incluye una revisión exhaustiva de la imagen de la morfología vascular. Después de la identificación de la representación clave de los elementos y operaciones, la aplicación propone un modelo de representación de conocimientos de vasos sanguíneos, para estudiar posibles

J. L. Reynoso, Universidad Autónoma del Estado de México, lynnreynoso@gmail.com.

A. D. Cuevas, Universidad Autónoma del Estado de México, almadeliacuevas@gmail.com.

F. García, Universidad Autónoma del Estado de México, fgarcial@uaemex.mx.

A. Guzmán, Centro de Investigación en Computación del IPN, aguzman@ieee.org.

problemas en ellos. No muestra detalladamente el contenido de la información representada. En cambio, nosotros explotamos esa información a través del uso de ontologías. Existen otros trabajos relacionados, pero no muy cercanos al nuestro.

El clasificador automático de imágenes nuestro, al efectuar el reconocimiento automático y colocación de cada imagen, facilita que un estudiante de medicina observe tanto las imágenes como su descripción, y así conozca más acerca del problema.

III. MARCO TEÓRICO

Representación del conocimiento

La representación del conocimiento es un área de la inteligencia artificial cuyo objetivo fundamental es representar el conocimiento de una manera que facilite hacer inferencias. La idea es tener una manera de razonar, inferir u obtener conclusiones de manera similar a como lo hacen los humanos [4].

Existen distintas técnicas para la representación del conocimiento, como son: Marcos [5], Reglas y Redes semánticas [6]. Nosotros usamos los marcos, representados dentro de la ontología. Un marco es un escenario donde se describen las características, propiedades y detalles de un concepto o idea.

En este artículo no se discutirán en detalle las ventajas y desventajas de cada enfoque de representación del conocimiento. El concepto de ontologías está explicado con mayor detalle en el siguiente apartado.

Para la representación de la información en este proyecto se usa el lenguaje o notación OM [1] para ontologías.

Ontologías

La ingeniería del conocimiento, y en particular el procesamiento de ontologías, es uno de los nuevos problemas en los que la informática actual ha centrado su atención.

Este procesamiento ha permitido un nuevo conjunto de aplicaciones, que requieren representación semántica en las que las ontologías juegan un papel fundamental. La mayoría de estas ontologías se encuentran situadas en dos campos: 1) la última generación de sistemas para la Web (Web 3.0, Web Semántica) y 2) la necesidad de integrar aplicaciones empresariales cada vez más distribuidas

El término ontología fue usado por primera vez en el área de la filosofía que estudia el ser o existencia. En el área de computación su significado es: *La especificación de una conceptualización*.

La definición que mejor nos acomoda es la siguiente:

Es una representación formal de información de cierto tipo, simbolizada a través de un hipergrafo dirigido donde cada vértice es un concepto que se encuentra enlazado a través de aristas que aquí se llaman relaciones. En esta definición, citada en [7], se establece que una ontología, debe tener tres características fundamentales:

Es **formal**. Se refiere a que debe ser estructurada, sea a través de un lenguaje humano (a través de la sintaxis de un idioma) o a través de una definición formal matemática

(Análisis Formal de Conceptos). En nuestro caso se busca que lo formal (estructurado) permita que la ontología sea entendida por una máquina.

Explícita, es decir que los conceptos, las restricciones y enlaces entre ellos estén definidos explícitamente. Una ontología no da lugar a ambigüedades. La representación no es ambigua, las palabras sí lo son.

Es una conceptualización **compartida**, porque contiene conocimiento consensuado aceptado por un grupo, de tal forma que la información que se representa en ella es entendida por los humanos o al menos por un grupo de ellos.

Lenguaje OM

Es un lenguaje definición de ontologías propuesto en [1] con la finalidad de representar conceptos y relaciones que proporcionen más semántica a las operaciones de búsqueda de conocimiento.

Para la realización manual de la ontología de resonancia magnética, tomamos textos de diferentes fuentes y nos basamos en la estructura semántica de las ontologías definidas en el lenguaje OM. Más detalles de éste se describen en [1].

Bases de datos multimedia

Una base de datos multimedia es una colección controlada de elementos de datos multimedia, como texto, imágenes, gráfico, video y audio.

Este proyecto cuenta con una base de datos multimedia con una selección manual de 50 imágenes de cada concepto (resonancia magnética) tomadas de internet. Se puso a entrenamiento el algoritmo SIFT (entrenándolo con 10 imágenes y probándolo con 40 imágenes por concepto) con categorías enumeradas por ejemplo: el concepto de resonancia magnética de columna lumbar pertenece a la categoría 1, resonancia magnética de rodilla a la categoría 2, resonancia magnética de pierna a la categoría 3 y así sucesivamente. Posteriormente SIFT realizó la clasificación automática de imágenes dejando el resultado en un archivo de texto, el cual contiene, por cada imagen, su categoría y su dirección lógica en la base de datos multimedia. A continuación otro programa vierte esta información en la ontología, actualizando los nodos adecuados con las imágenes respectivas y la información extraída por SIFT. Finalmente, mediante una interfaz se presentan al usuario los conceptos y sus imágenes.

Recuperación de imágenes

La cantidad considerable de imágenes disponibles en Internet, ya sea en bases de datos públicas o privadas, requiere el desarrollo de técnicas de recuperación eficientes [8]. Los problemas centrales correspondientes a la tarea de recuperación se relacionan con “interpretar” el contenido de las imágenes en una colección y ordenarlas de acuerdo al grado de relevancia en la consulta del usuario. Esta “interpretación” involucra extraer información del contenido de la imagen y usarla para compararla a las necesidades del usuario. Saber cómo extraer esta información no es la única dificultad; otra es saber cómo usarla para decidir la relevancia. La decisión de relevancia que caracteriza la necesidad de información del usuario es un problema complejo [9].

Reconocimiento de objetos usando SIFT

Los métodos basados en la comparación de imágenes completas son adecuados para describir la estructura de los objetos, pero no pueden hacerlo con eficiencia si el objeto presenta oclusión parcial o cambios de perspectiva. Recientemente se han obtenido avances en la solución de estos problemas con el desarrollo de características invariantes locales. Con estas características es posible encontrar estructuras locales que están presentes en diferentes perspectivas de la imagen. También es posible obtener una descripción de estas estructuras invariantes a transformaciones en la imagen, tales como: traslación, rotación, escala y de perspectiva [10], [11].

La transformación de características invariantes a escala (SIFT) es uno de los enfoques ampliamente utilizados. Este encuentra estructuras locales que están presentes en diferentes perspectivas de la imagen. También obtiene una descripción de estas estructuras que son invariantes a la traslación, rotación, escala e iluminación.

SIFT extrae los puntos clave que son invariantes en una determinada escala y le asigna una orientación a cada uno de estos puntos clave. Este paso garantiza invarianza a la escala y a la rotación. Los puntos clave extraídos por SIFT pueden repetirse varias veces; es decir, dadas dos imágenes de un mismo objeto, capturadas en diferentes perspectivas, pueden encontrarse en ambas imágenes un alto porcentaje de las características extraídas en la escena. Se calcula un descriptor de cada punto clave. Este descriptor debe ser altamente discriminativo y parcialmente robusto a otras variaciones como por ejemplo, la iluminación.

Para crear el descriptor Lowe [2] propone un arreglo de 16 histogramas de 8 espacios cada uno. Estos histogramas se calculan a partir de los valores de orientación y magnitud de los gradientes en una región de 16×16 píxeles alrededor del punto, con lo que cada histograma se forma de una subregión de 4×4 . El vector descriptor es el resultado de concatenar los histogramas. Dado que son 16 histogramas de 8 espacios cada uno, el vector resultante es de 128 elementos. Este vector es normalizado para lograr invarianza a la iluminación [12].

Con los descriptores es posible emplear algoritmos para comparar un conjunto de descriptores extraídos de diferentes imágenes, llamado: conjunto de entrenamiento. Con este conjunto de entrenamiento se pueden reconocer objetos.

IV. TRABAJOS RELACIONADOS

El estudio e interpretación de imágenes de resonancia magnética asistido por computadora ha crecido en las últimas dos décadas, ya que facilita los diagnósticos de los médicos especialistas [13], [14] y las operaciones quirúrgicas [15]. A continuación se presentan algunos de estos trabajos.

En [16] se aplica la técnica de agrupamiento k-means en imágenes de resonancia magnética de cuádriceps de mujeres de diferentes edades para segmentar las partes de tejido contráctil y no contráctil.

En [17] se analiza el flujo cardiaco basándose en la evaluación asistida por computadora de imágenes de resonancia magnética. La estimación del movimiento del

fluido hemático se hace al dar seguimiento a la intensidad de los píxeles. La resonancia magnética es una herramienta útil para la evaluación de enfermedades cardiovasculares; además se obtiene información del funcionamiento del corazón y de su anatomía.

En [18] se propone un método para el estudio de cáncer prostático, al clasificar el espectro de resonancias magnéticas espectroscópicas.

Un especialista en clínica espectroscópica de cáncer de próstata clasifica manualmente el espectro en tres categorías. Luego, la imagen es pre-procesada empleando los métodos de corrección de solo fase y corrección de línea de base. A continuación procede la clasificación mediante una máquina de soporte vectorial y un perceptrón multicapa.

En [19] se presenta un método para la detección temprana de cambios en tumores en respuesta a los tratamientos, basado en una modificación de la ponderación de difusión de imágenes de resonancia magnética. La observación de la oscilación de gradientes del campo magnético permite evaluar la tasa de difusión del agua sobre escalas espaciales. Éstas son la referencia para detectar cambios en la estructura intracelular que puede preceder a cambios en la celularidad.

V. DESARROLLO

Este proyecto ha usado la técnica de desarrollo de prototipos de software. Un prototipo inicial se prueba para ver si satisface los requerimientos del análisis, mostrándolo a los usuarios. Si no los satisface, se inicia un nuevo ciclo de correcciones de diseño y codificación, luego se vuelve a implementar o enriquecer el prototipo, se prueba y así continuamos hasta obtener un producto satisfactorio.

El método general que seguimos es el siguiente:

- (i) Se tomaron textos de distintas fuentes y manualmente fueron representados en una ontología.
- (ii) Por cada concepto en la ontología se añadieron a la base de datos multimedia una o más imágenes del mismo concepto (obtenidas de la Web).
- (iii) El algoritmo SIFT las clasificó automáticamente y las colocó en la ontología.

El sistema que se ha probado con documentos de internet, una imagen de rodilla se muestra en la (Fig. 3).

Después de ser extraídas las imágenes de la base de datos multimedia el algoritmo SIFT las toma y de acuerdo al entrenamiento que se le ha indicado, (por ejemplo: color, tamaño, textura, etc.) las ha clasificado en una categoría. El resultado de esta clasificación se deja en un archivo con extensión txt. Posteriormente un programa toma este archivo, extrae las imágenes de las clasificaciones y las coloca en su concepto correspondiente en la ontología. Por ejemplo, en el concepto *Resonancia Magnética de Rodilla* coloca las imágenes de clase 2. Si el concepto ya se encuentra se añaden las imágenes, si no se encuentra se agrega como un nuevo concepto y en él las imágenes de la clase.

El software tiene los componentes mostrados en la Fig. 1:

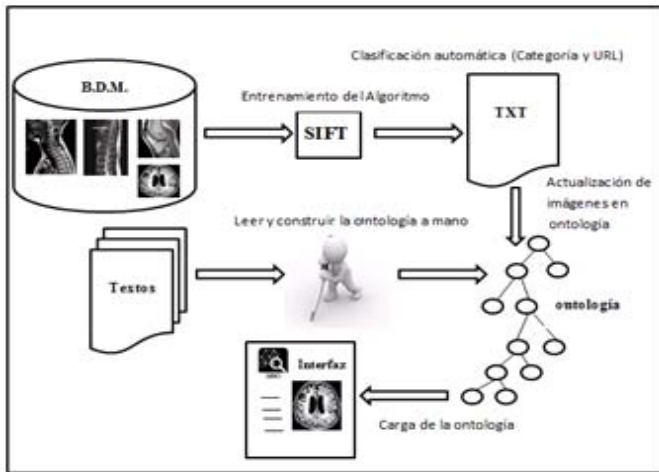


Figura 1. Diagrama general del proyecto em donde se puede ver que B. D. M. es la Base de datos multimidia del cual el algoritmo SIFT toma imágenes para su entrenamiento y deja como resultado (imágenes y clasificaciones) en un archivo txt para cargarlos automaticamente en la ontologia.

En la Fig. 2 se muestra la interfaz con el concepto Resonancia Magnética de Rodilla, donde “Concepto” es Resonancia Magnética de Rodilla, “Idioma” es Español, (se pueden definir otros idiomas pero solo se han hecho pruebas en español), “URL” es la dirección lógica donde se encuentran las imágenes, “Sinónimos” son los sinónimos del concepto (si no existen solo aparecerá el mismo nombre del concepto), “Concepto antecesor” y “Concepto sucesor” son los que conectan el concepto Resonancia de Rodilla como padre e hijo respectivamente en la ontología. Por ejemplo, Resonancia es antecesor de Resonancia Magnética y que a su vez tiene como sucesor Resonancia Magnética de Rodilla), “Glosa” es la definición del concepto y “Relaciones” son atributos o propiedades del concepto. El usuario podrá navegar a través de la ontología observando todos los conceptos que la forman.

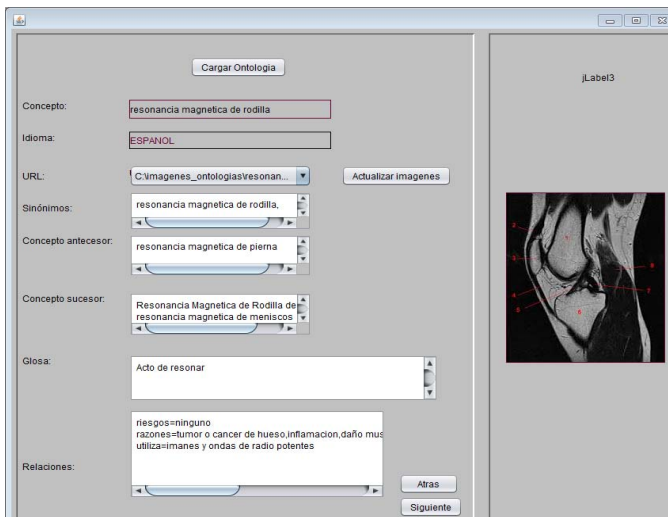


Figura 2. Interfaz que muestra la clase 2 Resonancia Magnética de Rodilla.

VI. PRUEBAS

En este apartado se presentan algunas pruebas con documentos de distintas fuentes, se analizan los resultados, así como el número de imágenes reconocidas y no reconocidas por el algoritmo SIFT.

Ejemplo: *Resonancia Magnética de piernas*
 Se han hecho algunas pruebas con imágenes de Resonancia magnética de piernas extraídas de documentos en la Web (Wikipedia, MedLinePlus, por citar algunos), se ha analizado el contenido del texto, en la Fig. 3 se presenta un fragmento de éste.

La resonancia magnética no contiene radiación. No se ha informado de efectos secundarios a causa de los campos magnéticos y las ondas de radio. El tipo de medio de contraste (tinte) utilizado más común es el gadolinio, el cual es muy seguro. Las reacciones alérgicas a esta sustancia son infrecuentes. Sin embargo, el gadolinio puede ser dañino para personas con problemas renales que requieran diálisis. Si usted tiene problemas en el riñón, por favor coménteles al médico antes del examen. Los fuertes campos magnéticos que se crean durante una resonancia magnética pueden provocar que los marcapasos cardíacos y otros implantes no funcionen igual de bien. También pueden provocar que un pedazo de metal dentro del cuerpo se desplace o cambie de posición. Por razones de seguridad, por favor no lleve nada que contenga metal al cuarto del escáner.

Figura 3. Texto tomado de internet, sobre resonancia magnética de pierna para su análisis..

En la Fig. 4 Se presenta una parte de la ontología, referente al concepto *resonancia magnetica de pierna* en la notación OM, donde se puede ver que cuenta con imágenes (etiqueta image) y características (etiqueta relation) y clasificación (subset, indica que *resonancia magnetica de rodilla* es un subconjunto de *resonancia magnetica*).

```
<concept>resonancia magnetica de pierna
  <language>Spanish<word>resonancia magnetica de pierna </word></language>
  <image> C:\imagenes_ontologias\resonanciapierna3.jpg; C:\imagenes_ontologias\resonanciapierna3.jpg
  <relation>resultados anormales=abseso, tendinitis aguilea, artritis, huesos
  <relation>riesgos=no contiene radiacion, </relation>
  <relation>consideraciones=gammagrafia osea, tomografia computarizada de :
  <subset>resonancia magnetica </subset>
```

Figura 4. Ontología representada en la notación OM, donde se puede ver el concepto Resonancia magnética de rodilla en un rectángulo de color rojo..

La Fig. 5 presenta una parte de la ontología en formato gráfico. Donde se puede observar en el cuadro azul, algunas de las propiedades de la Resonancia magnética de rodilla. Se presenta solo una parte de la ontología.

[7] T. Gruber, "A Translation Approach to Portable Ontology Specifications", Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL, vol. 5, pp. 199-220, 1993.

[8] S. Lohr. "Sampling: Design and Analysis". Advanced Series, Second Edition, 2010.

[9] K. Muneeswaran and P. Manipoonchelvi. "Multi region based image retrieval system". Indian Academy of Sciences, vol. 39, no.2, pp. 333-344, 2014.

[10] L. Chang, M. Duarte, L. E. Sucar, and E. Morales. "A bayesian approach for object classification based on clusters of SIFT local features", *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 2, pp. 1679-1686, 2012.

[11] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars and L. V. Gool. "Speeded-up robust features (SURF)", *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 110, no.3, pp. 346-359, 2008.

[12] L. Chang, M. M. Duarte, L. E. Sucar and E. Morales. "Object class recognition using SIFT and Bayesian networks", *Mexican International Conference on Artificial Intelligence 2010, Lecture Notes on Artificial Intelligence (LNAI)* vol. 6438, pp. 56-66, 2010.

[13] X. Hu, V. Johnson, W.H., Wong amd C.T. Chen. "Bayesian image processing in magnetic resonance imaging". *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 9, no. 4, 1991, pp. 611-620.

[14] S.S. Berr, N.J. Hurt, C.R. Ayers, J.W. Snell and M.B. Merickel. "Assessment of the reliability of the determination of carotid artery lumen sizes by quantitative image processing of magnetic resonance angiograms and images". *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 13, no. 6, pp. 824-835, 1995.

[15] Y. Hayashi, K. Misawa, M. Oda and K. Mori. "Clinical application of 3D virtual navigation system to laparoscopic gastrectomy". *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 9, no. 1, pp. S311-S312, 2014.

[16] C. Graya, T. J. MacGillivraya, C. Eeleyb, N.A. Stephensb, I. Beggsc, K.C. Fearonb and C.A. Greib. "Magnetic resonance imaging with k-means clustering objectively measures whole muscle volume compartments in sarcopenia/cancer cachexia". *Clinical Nutrition*, vol. 30, no. 1, pp. 106-111, 2011.

[17] K.K.L. Wonga, Z. Sunc, J. Tua, S.G. Wothleyd, J. Mazumdarb and D. Abbottb. "Medical image diagnostics based on computed-aided flow analysis using magnetic resonance images". *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 36, no. 7, pp. 527-541, 2012.

[18] S. Parfaiata, P.M. Walkera, G. Crehangea, X. Tizond and J. Miterana. "Classification of prostate magnetic resonance spectra using Support Vector Machine". *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 7, no. 5, pp. 499-508, 2012.

[19] D.C. Colvina, M.E. Lovelessa, M.D., Doesa, Z. Yuea, T.E. Yankeelova and J.C. Gorea. "Earlier detection of tumor treatment response using magnetic resonance diffusion imaging with oscillating gradients". *Magnetic Resonance Imaging*, vol. 29, no. 3, pp. 315-323, 2011.



Jennifer Lynn Reynoso Muñóz. graduada de la Universidad Autónoma del Estado de México, concluyó sus estudios en Informática Administrativa, en 2013. Há entrado su interés en la Programación Orientada a Objetos.



Alma Delia Cuevas Rasgado. Obtuvo su Maestría y Doctorado en Ciencias de la Computación en el CIC-IPN (Centro de Investigación en Computación del Instituto Politécnico Nacional) en Mexico. Sus líneas de investigación son: Ingeniería de Software, específicamente la Calidad del Software e Inteligencia Artificial específicamente la representación del conocimiento y fusión de ontologías. Actualmente es profesor investigador de la Universidad Autónoma del Estado de México. Imparte cursos en las áreas de: Base de Datos, Sistemas de Información, Programación y Tecnologías para la Web e Inteligencia Artificial. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores en México.



Farid García Lamont es Ingeniero en Robótica Industrial del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México desde el 2000; en 2004 obtuvo su Maestría en Ciencias en Control Automático en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV-IPN), México. En 2010 obtuvo el grado de Doctor en Ciencias de la Computación del CINVESTAV-IPN. Desde el 2012, es profesor de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), UAEM-Texcoco. Sus líneas de investigación son: Reconocimiento de patrones, Aplicaciones de la Inteligencia Artificial y Robótica.



Adolfo Guzmán Arenas es profesor/investigador en el Centro de Investigación en Computación (CIC) del Instituto Politécnico Nacional (IPN, México). Es egresado de la ESIME-IPN y del MIT. Es Fellow del ACM, Fellow del IEEE, miembro del Consejo Educativo del MIT, de la Academia de Ingeniería (Académico de Honor), Academia Nacional de Ciencias, y del Consejo Consultivo de Ciencias. Es Doctor Honoris Causa del INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica). Del Presidente de México recibió en 1977 el Premio Banamex, Rama Agropecuaria (mención honorífica) y en 1996 el Premio Nacional de Ciencias y Artes. Trabaja en el CIC en procesamiento semántico y manejo de texto, a menudo combinando técnicas de Inteligencia Artificial con sistemas distribuidos y minería de datos.