

## Plataforma para la búsqueda por contenido visual y semántico de imágenes médicas

*Alexandra La Cruz<sup>1,5,6</sup>, Andrés Tello<sup>2</sup>, Mauricio Espinoza<sup>2</sup>, Victor Saquicela<sup>2</sup>, Patricia Gonzalez<sup>3</sup>, Yoredy Sarmiento<sup>3</sup>, Washintong Ramírez-Montalvan<sup>4</sup>, Lizandro Solano-Quinde<sup>5</sup>, María-Esther Vidal<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> Investigador Prometeo, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 010150.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 010150.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias de la Salud, Universidad Técnica Particular de Loja San Cayetano Alto, Calle París, Loja, Ecuador, 110150.

<sup>5</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, Isabel La Católica, Quito DC, Ecuador, 170143.

<sup>5</sup> Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 010150.

<sup>6</sup> Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas, Caracas, Venezuela, 89000.

Autores para correspondencia: alexandra.lacruz@ucuenca.edu.ec, patricia.gonzalez@utpl.edu.ec, wramirez@ups.edu.ec

Fecha de recepción: 28 de septiembre 2015 - Fecha de aceptación: 12 de octubre 2015

### RESUMEN

Este trabajo describe una plataforma que permite automatizar el proceso de anotación semántica sobre imágenes médicas, sin depender de la ontología utilizada. Las anotaciones automáticas se realizan mediante: (a) un proceso de conversión de imágenes médicas DICOM (RDF-ización) al formato RDF; (b) la integración de diferentes ontologías biomédicas, a través de la correspondencia de distintas ontologías biomédicas a los datos DICOM; haciendo la herramienta independiente de la ontología; (c) la segmentación y visualización de los datos anotados, se utiliza además para generar nuevas anotaciones de acuerdo al conocimiento del experto, permitiendo así validar las anotaciones. Aplicando además técnicas de recuperación de imágenes basadas en su contenido visual, hace posible la recuperación de imágenes médicas por similitud de características inherentes a las imágenes. Esta plataforma está siendo construida sobre una arquitectura distribuida, la cual permite optimizar la forma de clasificación, distribución y búsqueda por contenido visual y semántico de las imágenes.

Palabras clave: Ontologías médicas, visualizador 3D basado en Web, segmentación, anotaciones semánticas.

### ABSTRACT

This paper present a framework ontology-independent for the automatic semantic annotation of medical images. The automatic annotation is done by (a) semantifying of DICOM medical images (RDF-ization) automatically; (b) Integration of different biomedical ontologies, through the matching process between ontologies and DICOM metadata, making this approach ontology-independent; (c) segmentation and visualization of annotated data which is further used to generate new annotations according to expert knowledge, and validation. Additionally applying context based image retrieval, make possible the retrieval of medical imaging by similarity of images features. This platform is being built on a distributed architecture, which improve the way of classification, distribution and searching on image repository.

Keywords: Ontology biomedical, Web 3D-visualizer, segmentation, semantic annotations.

## 1. INTRODUCTION

Los avances tecnológicos recientes en el área de imagenología médica ha promovido el diagnóstico médico basado en imágenes. Algunos casos son importantes de almacenar para análisis y estudios posteriores. Surgiendo la necesidad de manejar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. Hoy en día y gracias a la Web Semántica se han diseñado algunas herramientas que permiten agilizar los procesos de búsqueda y recuperación de datos en la Web. Adicionalmente algunos trabajos han demostrado que con el uso del conocimiento estructurado y definido en las ontologías es posible realizar anotaciones semánticas sobre imágenes médicas (La Cruz *et al.*, 2013). Utilizando ontologías médicas definidas como RadLex<sup>1</sup>, Foundational Model of Anatomy (FMA<sup>2</sup>), Ontology of Biomedical Reality (OBR<sup>3</sup>), Open Biomedical Ontologies (OBO<sup>4</sup>) entre otras tantas, permiten conceptualmente usar los términos definidos en ellas para realizar anotaciones sobre las imágenes médicas. Sin embargo, resulta un reto científico identificar una ontología que cubra la totalidad del conocimiento médico.

En este trabajo se presenta el desarrollo de una plataforma abierta que permite: (a) enlazar de manera transparente cualquier ontología utilizando la librería L-MOM (Library for Mapping Ontology Metadata) (Pérez *et al.*, 2015) y permitir su uso para realizar la anotación semántica sobre las imágenes; (b) aplicar diferentes técnicas de visualización sobre las imágenes médicas; (c) realizar búsquedas por contenido semántico; y (d) realizar búsqueda por contenido visual; esto es por similitud de características inherentes a las imágenes. Dicha plataforma está siendo soportada por una arquitectura de datos distribuidos, la cual permite tener el repositorio de datos de manera distribuida, permitiendo entre otras cosas agilizar los procesos de búsqueda.

El presente artículo está conformado de la siguiente manera: en la Sección 2, se hace una reseña de los trabajos más recientes y relevantes al trabajo desarrollado. La Sección 3 describe el proceso para realizar las anotaciones semánticas de manera automática, semi-automática y manual. La Sección 4 presenta los métodos de procesamiento de imágenes para segmentar tejidos sobre las imágenes médicas de manera semi-automática y la Sección 5 describe los métodos de similitud de imágenes por contenido visual que se desarrollaron. Luego en la sección 6 se describe la arquitectura distribuida sobre la que se tiene esta plataforma. Finalmente se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

## 2. TRABAJOS RELACIONADOS

Las ontologías médicas representan un conocimiento estructurado y estandarizado con respecto a un tópico en particular, de las cuales podemos mencionar RadLex, FMA (Rosse *et al.*, 2008), MeSH (Lipscomb, 2000), OBR (Rosse *et al.*, 2005), OBO, entre otras. Adicionalmente se tiene evidencia (La Cruz *et al.*, 2013) de que explotando el conocimiento codificado en estas ontologías, la definición de reglas semánticas construidas a partir de las ontologías y las imágenes DICOM, se puede mejorar la segmentación y visualización de imágenes médicas.

Diferentes investigaciones han estado orientadas con el fin de anotar las imágenes médicas (Möller & Mukherjee, 2009; Giordano *et al.*, 2013; Chabane *et al.*, 2013). Estos trabajos requieren de modificaciones al sistema PACS (Picture Archiving and Communication System) para poder utilizar las ontologías, y no permiten la integración automática de nuevas ontologías. El PACS es un sistema utilizado en los centros de imágenes médicas para el manejo, almacenamiento y transmisión de imágenes médicas. De estos trabajos se han desarrollado diferentes plataformas con fines similares a

---

<sup>1</sup> <http://radlex.org/>

<sup>2</sup> <http://sig.biostr.washington.edu/projects/fm/index.html>

<sup>3</sup> <http://ontology.buffalo.edu/medo/biomedo.htm>

<sup>4</sup> <http://www.obofoundry.org>

este trabajo (Möller *et al.*, 2006; Lambrix & Tan, 2006). Ejemplo de ello son: MEDICO<sup>5</sup> y SAMBO (System for Aligning and Merging Biomedical Ontologies) que permiten manejar las ontologías FMA y RadLex, sin embargo no permiten escalar al uso de otras ontologías biomédicas. Este trabajo presenta el desarrollo de una plataforma de acceso abierto que permite la fácil integración de nuevas ontologías, haciendo el sistema independiente de la ontología. Con lo cual si en el futuro se llegan a definir nuevas ontologías, el sistema no requiera de grandes modificaciones para integrarlas al sistema. De esta forma se permite enriquecer el conocimiento ontológico de manera dinámica.

### 3. PROCESO DE ANOTACIÓN SEMÁNTICA EN IMÁGENES MÉDICAS

El proceso de búsqueda por contenido semántico en repositorios de imágenes médicas requiere que los datos estén anotados semánticamente. Para ello se realiza un proceso que involucra la conversión de los metadatos contenidos en los archivos DICOM a la estructura RDF. Creando con estos archivos RDF un repositorio de datos. Estos datos luego son enriquecidos semánticamente con las diferentes ontologías, a través de un proceso de anotado automático. Así mismo las anotaciones semi-automáticas y manuales se realizan utilizando un visualizador Web, en el cual se integran las ontologías, repositorio de imágenes y los archivos RDF. A continuación se describe el proceso de anotado semántico sobre las imágenes médicas

#### 3.1. Proceso de RDF-ization

Este proceso permite transformar los metadatos contenidos en los datos DICOM a la estructura RDF. Con el fin de tener un repositorio RDF, sin datos de imagen y poder agilizar los procesos de búsqueda. Básicamente con esto se tiene un repositorio de acceso rápido con los enlaces a los recursos, que en este caso serían las imágenes correspondientes. En este proceso fue necesario construir un PACS, el cual fue implementado utilizando la biblioteca dcm4che<sup>6</sup>. dcm4che es una colección de aplicaciones de código abierto y herramientas utilizadas en los sistemas informáticos del área de la salud.

#### 3.2. Anotaciones automáticas

Algunas anotaciones son realizadas de manera automática, utilizando la biblioteca L-MOM (Pérez *et al.*, 2015). Dicha biblioteca permite el uso de diferentes ontologías, y realiza la correspondencia entre los términos de cada ontología y los metadatos de los archivos DICOM. En esta fase del proceso de anotado semántico de las imágenes, se obtienen los metadatos en formato RDF, se toman como entrada estos archivos RDF y se mapea sintácticamente con los términos de las ontologías (RadLex, FMA, MeSH, etc.). Tomando una similitud sintáctica por encima de un 80-90% entre términos de las ontologías y datos contenidos en los archivos RDF que contienen los metadatos de las imágenes médicas. Con este resultado de correspondencia sintáctica, se agregan a estos archivos RDF los términos correspondientes al estudio. De esta manera, se realizan anotaciones automáticas a los metadatos DICOM, básicamente se completa la información del estudio correspondiente con términos de las ontologías. Las anotaciones automáticas son incluidas en los archivos RDF que contienen los metadatos DICOM, y almacenadas nuevamente en el repositorio RDF.

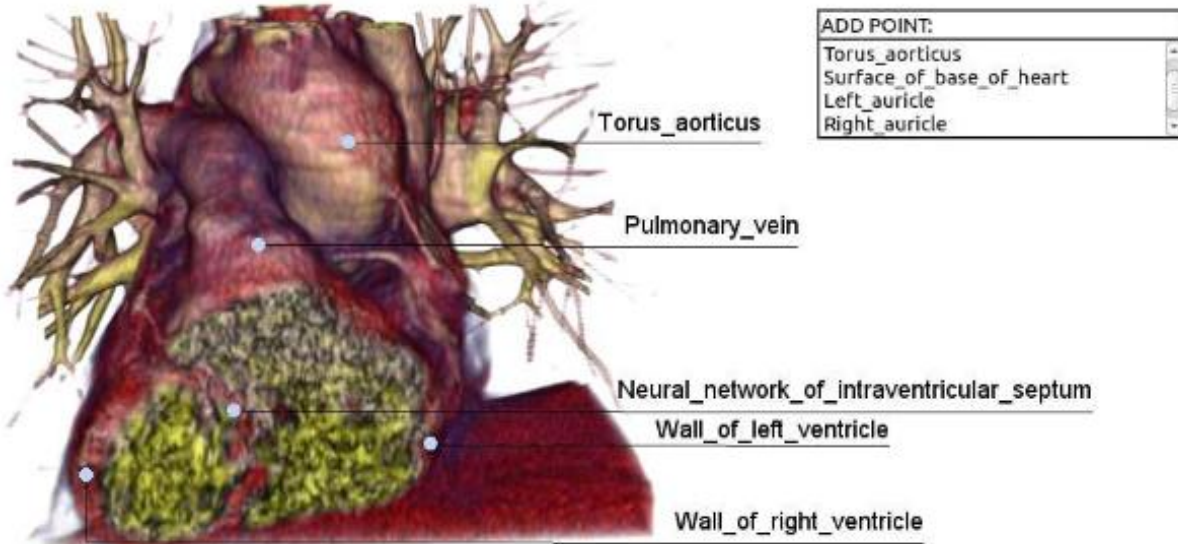
#### 3.3. Anotaciones semi-automáticas y manuales

Se desarrolló una interfaz Web que permite realizar búsquedas al PACS directamente en casos de que los datos no estén anotados semánticamente y al repositorio RDF en caso de estar anotados. El sistema WebMedSA (Sistema para el anotado semántico de imágenes médicas basado en la Web), este sistema permite al especialista confirmar las anotaciones automáticas realizadas y más aún realizar nuevas anotaciones de manera semi-automática o manual. La herramienta permite además realizar

<sup>5</sup> <http://www.manuelm.org/blog/?tag=medico-ontology>

<sup>6</sup> <http://www.dcm4che.org>

segmentaciones sobre las imágenes médicas y etiquetar su contenido utilizando las ontologías médicas relacionadas al estudio que se está realizando. De esta manera se realizan anotaciones semi-automáticas y manuales. El resultado de realizar anotaciones semánticas sobre imágenes médicas se puede observar en la Figura 1 en donde se muestra la imagen renderizada de una imagen de tomografía cardíaca y los términos asociados a la ontología referente al estudio.



**Figura 1.** Renderizado de una imágenes de volumen cardíaco de una imagen de tomografía y su lista de términos asociados al estudio, extraídos de la ontología FMA a partir de la correspondencia entre la ontología y metadatos DICOM.

#### 4. MÉTODOS DE SEGMENTACIÓN

El proceso de anotación semántica manual y semi-automática sobre las imágenes médicas se facilita con la aplicación de métodos de segmentación de imágenes sobre los datos. El método de segmentación utilizado en la aplicación es el método llamado Watershed (Beucher & Lantuejoul, 1979). La interfaz del sistema permite al usuario experto, seleccionar regiones y subregiones de interés sobre la imagen y aplicar el método de segmentación, y así identificar el tejido u órgano de estudio. Luego utilizando términos de las ontologías cargadas al sistema, el especialista imagenólogo puede agregar nuevas anotaciones de los tejidos segmentados. Esto permitirá en un futuro utilizar ontologías que definen diferentes patologías y anotar las mismas sobre las imágenes. Dado que el sistema no depende de la ontología utilizada, sería totalmente transparente para el usuario especialista en imágenes el uso de ontologías que describan patologías asociadas al estudio médico, así como no requiere de programación extra para utilizar alguna nueva ontología. Todas las nuevas anotaciones que se realizan sobre los datos son agregados a los archivos RDF correspondientes a la imagen en estudio. Por lo que de una manera dinámica el repositorio RDF de metadatos DICOM se va enriqueciendo continuamente.

#### 5. BÚSQUEDA POR CONTENIDO VISUAL

Adicionalmente la plataforma permite al usuario experto realizar búsquedas por: (a) contenido semántico, utilizando los términos de las ontologías médicas; (b) datos de estudios o del paciente; o (c) contenido visual, utilizando como dato de entrada una imagen (2D, 3D) y recuperar aquellas imágenes con mayores similitudes a la imagen de entrada. Este proceso es conocido en el área de visión por

computadora como recuperación de imágenes basado en su contenido aplicando descriptores de imágenes (Kumar *et al.*, 2014). La potencialidad de usar anotaciones semánticas junto con métodos de recuperación de imágenes por contenido permite realizar búsquedas mucho más eficientes. Existen varios métodos aplicados a la recuperación de imágenes basados en su contenido, entre ellos: el método SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) (Lowe, 2004), SURF (Speeded Up Robust Features) (Bay *et al.*, 2008), FAST (Features from Accelerated Segment Test) (Rosten & Drummond, 2006) y ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) (Rublee *et al.*, 2011). Sin embargo el que se desarrolló para este trabajo fue el método conocido como SIFT (Lowe, 2004). SIFT tiene la capacidad para encontrar características de una imagen dentro de otra imagen, aun cuando la misma tenga una escala diferente o tengan una iluminación parcialmente diferente o una pequeña distorsión geométrica local. Todo esto lo logra mediante la transformación de la imagen dentro de una gran colección de vectores característicos. Los puntos claves son encontrados con el valor máximo y mínimo del resultado de la diferencia de la función Gaussiana aplicada en el espacio escala a una serie de imágenes suavizadas y redimensionadas (Lowe, 2004). Además fue el método que presentó mayor número de características comunes o similares en las imágenes, obteniendo mejores resultados, aunque computacionalmente no fue el más óptimo, en cuanto al tiempo de ejecución para obtener resultados. Un ejemplo del resultado que se obtuvo aplicando el método SIFT en un repositorio de imágenes de CT se puede observar en la Figura 2.

## 6. ARQUITECTURA DE COMPUTACIÓN GRID

La computación Grid permite en este trabajo tener los recursos de manera distribuida, siendo totalmente transparente para el usuario experto. No solo los recursos (en este caso las imágenes) son mantenidas en repositorios distribuidos, sino que los métodos de búsquedas por contenido visual que requieren poder de cómputo virtual, el Grid nos permite de forma coordinada utilizar los recursos de cómputo y almacenamiento. Dicha infraestructura es implementada utilizando el *Middleware* de Globus Toolkit<sup>7</sup> (versión 6.0). Para el acceso se ha considerado conservar la integración de la seguridad de los datos, autenticación de usuarios y sobre todo manteniendo siempre la confidencialidad del paciente. Los datos transferidos entre nodos del sistema distribuido son debidamente encriptados utilizando el método de encriptación SHA-512.

## 7. RESULTADOS

Se desarrolló una plataforma en donde se integraron: (1) El proceso de conversión a RDF datos y metadatos contenidos en los archivos DICOM; (2) Correspondencia de términos asociados a las ontologías con los metadatos de DICOM; (3) Visualización en 3D y por cortes de las imágenes médicas DICOM; (4) Plataforma de búsqueda por contenido anotado; (5) Plataforma de anotado manual de las imágenes médicas utilizando las ontologías médicas disponibles. (6) Arquitectura distribuida. En la Figura 1 se muestra el resultado de la combinación de anotación semántica de manera automática y semi-automática, y en la Figura 2, resultados preliminares de una búsqueda por contenido visual.

## 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En la ejecución de este proyecto se desarrolló una plataforma de anotado semántico sobre imágenes médicas que permite: (i) la integración de diferentes ontologías médicas de manera transparente al

---

<sup>7</sup> <http://toolkit.globus.org/toolkit/>

usuario experto. Las ontologías utilizadas pueden ser definidas por el administrador del sistema; (ii) definir *Queries* sobre los datos anotados o no anotados, a través del PACS; (iii) realizar anotaciones sobre las imágenes médicas, con sugerencias al usuario sobre términos anatómicos referentes al órgano en estudio, a fin de facilitar el anotado de las imágenes; (iv) aplicar diferentes técnicas de visualización, por cortes o en 3D; (v) facilitar las herramientas gráficas para realizar segmentaciones semi-automáticas sobre el volumen de datos; (vi) realizar búsquedas por anotaciones semánticas o por características de las imágenes. La validación del sistema ha sido principalmente basada en los comentarios positivos de parte de médicos especialistas, radiólogos y técnicos de imagenología médica de algunos colaboradores. Actualmente especialistas médicos están utilizando el sistema, básicamente en el proceso de anotado semi-automático y manual de las imágenes, con fines docentes.

The screenshot shows a web browser window with the URL `http://localhost:9070/index.jsp?param1=/home/francisco/Head_/home/francisco/IRM/T2W_/home/franc`. The page title is "CONTENT BASED DICOM RETRIEVER". Below the title, it states: "The Algorithm employed by the search is PyramidFast - SIFT. The database used consists of 18 Studies, that contain 2532 medical images in total. Time processing = 377.76 sec".

The main content area features a "Query Image" section with a small thumbnail of a brain scan. Below this is a table with the following data:

Study	Common Points	Preview 2D	
../Head5/IM-0001-0035.dcm	30		<a href="#">View Volume</a>
../Head1/vhf.1537.dcm	25		<a href="#">View Volume</a>
../Head2/IM-0001-0038.dcm	25		<a href="#">View Volume</a>

Figura 2. Resultado del proceso de búsqueda por similitud de imágenes utilizando el método SIFT.

## 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En la ejecución de este proyecto se desarrolló una plataforma de anotado semántico sobre imágenes médicas que permite: (i) la integración de diferentes ontologías médicas de manera transparente al usuario experto. Las ontologías utilizadas pueden ser definidas por el administrador del sistema; (ii) definir *Queries* sobre los datos anotados o no anotados, a través del PACS; (iii) realizar anotaciones sobre las imágenes médicas, con sugerencias al usuario sobre términos anatómicos referentes al órgano en estudio, a fin de facilitar el anotado de las imágenes; (iv) aplicar diferentes técnicas de visualización, por cortes o en 3D; (v) facilitar las herramientas gráficas para realizar segmentaciones semi-automáticas sobre el volumen de datos; (vi) realizar búsquedas por anotaciones semánticas o por características de las imágenes. La validación del sistema ha sido principalmente basada en los comentarios positivos de parte de médicos especialistas, radiólogos y técnicos de imagenología médica de algunos colaboradores. Actualmente especialistas médicos están utilizando el sistema, básicamente en el proceso de anotado semi-automático y manual de las imágenes, con fines docentes.

Como trabajos futuros se tienen la implementación o diseño de reglas semánticas a partir de los datos anotados para la segmentación de las imágenes. Actualmente la plataforma se está desarrollando sobre una arquitectura GRID, con el fin definir repositorios de imágenes ubicados de manera distribuidas en distintos centros de imágenes y su acceso sea transparente a la ubicación del usuario

## AGRADECIMIENTO

Parte de este proyecto fue soportado por la DIUC (Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca) bajo el número 21203006301403, co-financiado por el programa PROMETEO de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de la República del Ecuador, SENESCYT y por CEDIA (Consorcio Ecuatoriano de Internet Avanzado) con el proyecto CEPRAVIII-Teleragiología. Queremos agradecer a los ingenieros que han trabajado en el desarrollo de esta plataforma contratados por los diferentes proyectos: Diana Collaguazo, Wilson Pérez, Francisco Vega, Ronald Gualán y Juan Carlos Guillermo. Queremos así mismo agradecer al M.Sc. Alexander Baranya por su colaboración a distancia por tan invaluable discusión sobre el tema.

## REFERENCIAS

- Bay, H., A. Ess, T. Tuytelaars, L. Van Gool, 2008. Speeded-up robust features (surf). *Comput. Vis. Image Underst.*, 110(3), 346-359.
- Beucher, S., C. Lantuejoul, 1979. *Use of watersheds in contour detection*. In: International Workshop on Image Processing: Real time edge and motion detection estimation. Disponible en <http://cmm.enscm.fr/~beucher/publi/watershed.pdf>, 12 pp.
- Chabane, Y., L. d’Orazio, L. Gruenwald, B. Mohamad, C. Rey, 2013. Medical data management in the syseo project. *ACM SIGMOD Record*, 42(3), 48-53.
- Giordano, D., C. Pino, C. Spampinato, M. Fargetta, A. Di Stefano, 2013. *A semantic-based platform for medical image storage and sharing using the grid*. In: Biomedical Engineering Systems and Technologies, Vol. 273, pp. 353-364. Springer Link.
- Kumar, R.M., K. Sreekumar, 2014. A survey on image feature descriptors. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(6), 7668-7673. Disponible en <http://www.ijcsit.com/docs/Volume%205/vol5issue06/ijcsit20140506168.pdf>.
- La Cruz, A., A. Baranya, M-E. Vidal, 2013. *Medical image rendering and description driven by semantic annotations*. In: Resource Discovery, Vol. 8194 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 123-149. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Lambrix, P., H. Tan, 2006. Sambo - a system for aligning and merging biomedical ontologies. *Journal of Web Semantics*, 4, 206.
- Lipscomb, C.E., 2000. Medical subject headings (mesh). *Bull Med Libr Assoc.*, 88(3), 265-266.
- Lowe, D.G., 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110.
- Möller, M., P. Ernst, M. Sintek, S. Seifert, G. Grimnes, A. Cavallaro, A. Dengel, 2006. *Combining patient metadata extraction and automatic image parsing for the generation of an anatomic atlas*. Vol. 6276 of Lecture Notes in Computer Science, Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems. Springer Link.
- Möller, M., S. Mukherjee, 2009. *Context-driven ontological annotations in dicom images towards semantic pacs*. In: HEALTHINF, pp. 294-299.
- Pérez, W., A. Tello, V. Saquicela, M-E. Vidal, A. La Cruz, 2015. *An automatic method for the enrichment of dicom metadata using biomedical ontologies*. In: 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Biomedical Engineering: A bridge to improve the quality on health care and the quality of life, pp. 2551-2554.
- Rosse, C., A. Kumar, J.L.V. Mejino Jr., D.L. Cook, L.T. Detwiler, B. Smith, 2005. *A strategy for improving and integrating biomedical ontologies*. AMIA Annu. Symp. Proc., 639-643.
- Rosse, C., J.L.V. Mejino, 2008. *The foundational model of anatomy ontology*. Anatomy Ontologies for Bioinformatics, Vol. 6 of the series Computational Biology, pp. 59-117.

Rosten, E., T. Drummond, 2006. *Machine learning for high-speed corner detection*. In: Computer Vision-ECCV, pp. 430-443. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Rublee, E., V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski, 2011. *Orb: An efficient alternative to sift or surf*. In: IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2564-2571.