
ANOTACIÓN SEMÁNTICA DE IMÁGENES MÉDICAS

Semantic Annotation of Medical Images

OSCAR CEBALLOS¹, Ing.; ALEXANDER GARCIA², Ph. D.;

LEYLA GARCÍA-CASTRO³, M.Sc.; MARTHA MILLAN¹, Ph. D.

¹Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia. oscar.ceballos@correounivalle.edu.co

²Departamento de Lingüística Computacional, Universidad de Bremen. Bremen, Alemania. cagarcia@uni-bremen.de

³Universität der Bundeswehr München. Neubiberg, Alemania. leylajael@gmail.com

Presentado 12 de marzo de 2010, aceptado junio 4 de 2010, correcciones junio 21 de 2010.

RESUMEN

El uso de ontologías para facilitar la anotación semántica de imágenes médicas ha sido un enfoque ampliamente utilizado. Una limitación particular de este enfoque, es el reducido número de ontologías con un alto nivel de completitud, debido en parte, a la dificultad que representa su evolución. En este artículo se propone un método que facilita la evolución de ontologías a partir de las contribuciones hechas por expertos de dominio mediante el etiquetado social de imágenes médicas. El método guía el proceso colaborativo durante el descubrimiento del cambio. Adicionalmente, se presenta una herramienta construida sobre *Web Protégé* para dar soporte al método propuesto.

Palabras clave: folksonomías, ingeniería ontológica, evolución ontológica, anotación semántica.

ABSTRACT

The use of ontologies to facilitate semantic annotation of medical images has been a widely used approach. A particular limitation of this approach is the lack of ontologies with a high level of completeness, mainly because the problem that ontology evolution represent. This article proposes an approach that facilitates the evolution of ontologies from the contributions made by domain experts through social tagging of medical images. The method guides the collaborative process during the discovery of change. Additionally, we present a tool build on *Web Protégé* to support the proposed method.

Key words: folksonomies, ontology engineering, ontology evolution, semantic annotation.

INTRODUCCIÓN

Una de las definiciones de ontología ampliamente aceptada es la propuesta por Gruber, 1993: “una especificación explícita y formal sobre una conceptualización compartida”.

En esta definición “explícito”, hace referencia a la necesidad de especificar, de manera consciente, los distintos conceptos que conforman la ontología; “formal” indica que la especificación se debe representar por medio de un lenguaje de representación formal legible por la máquina y “conceptualización” se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno del mundo del cual se identifican los conceptos relevantes (Gruber, 1995; Studer *et al.*, 1998). Las ontologías se componen de clases, relaciones, funciones, instancias y axiomas para representar el conocimiento de un dominio específico (Gómez-Pérez *et al.*, 2004). Las clases representan conceptos y son las ideas básicas que se intentan formalizar, las relaciones representan la asociación entre los conceptos, las funciones, constituyen un tipo especial de relación donde se identifican elementos mediante el cálculo de una función, las instancias se utilizan para representar directamente objetos del dominio, esto es, instancias de los conceptos y los axiomas, normalmente, se utilizan para representar el conocimiento que no se puede definir formalmente mediante los otros componentes. En bioinformática, las ontologías se han utilizado ampliamente como modelo de representación de conocimiento y para facilitar la interoperabilidad entre bases de datos heterogéneas. Por ejemplo, *FMA* (*Foundational Model of Anatomy*; Rosse y Mejino, 2007) es una ontología para representar la estructura anatómica humana, *RadLex* (*Radiology Lexicon*, <http://www.rsna.org/radlex/>) es una terminología usada en radiología, *GO* (*Gene Ontology*) (*Consortium GO*, 2001) es una ontología ampliamente usada para describir un gen, la función molecular de los productos génicos de cualquier organismo, su rol en los procesos biológicos y su localización en los componentes celulares. *ICD-10* (*International Classification of Diseases version 10*, https://dkm.fbk.eu/index.php/ICD-10_Ontology) es una ontología que integra datos biomédicos asociados con enfermedades humanas y *NCIt* (*NCI Thesaurus*, <http://nciterns.nci.nih.gov/>) provee definiciones, sinónimos e información sobre tipos de cáncer y enfermedades relacionadas.

Las ontologías se han usado también para facilitar la anotación semántica de imágenes médicas. La anotación consiste en etiquetar la imagen, o parte de ella, con conceptos que pertenecen a la ontología (Hunter, 2008). Diferentes sistemas de anotación semántica se han propuesto (Aguado de Cea *et al.*, 2009). Por ejemplo, Jonquet *et al.*, 2008, presentan un sistema de anotación que le facilita a los usuarios encontrar recursos de datos biomédicos relacionados con conceptos de una ontología particular, almacenada en el repositorio de ontologías BioPortal (Noy *et al.*, 2009). Möller *et al.*, 2009, describen *RadSem*, una herramienta para la recuperación y anotación semántica de imágenes *DICOM*¹ (*Digital Imaging and Communication*, <http://medical.nema.org/>), que utiliza las ontologías *FMA*, *ICD-10* y *RadLex* como base de conocimiento.

La disponibilidad de ontologías para apoyar tareas de anotación y recuperación de imágenes médicas es, actualmente, un foco de investigación y desarrollo. García *et al.*, 2009, identifican algunas dificultades cuando se construyen ontologías biomédicas. Algunas de estas son la falta de metodologías estándar para su desarrollo, la poca disponibilidad de tiempo por parte de los expertos de dominio, la falta de soporte para la evolución de las ontologías y la necesidad de facilitar la colaboración entre expertos de dominio con

¹*DICOM* es un estándar creado por *NEMA* (*National Electrical Manufactures Association*) para el intercambio, almacenamiento, impresión y transmisión de imágenes médicas.

el fin de permitir el reporte continuo de nuevos términos y su correspondiente inclusión en la ontología. No todas las metodologías propuestas ofrecen una guía detallada que permita replicar fácilmente el proceso de desarrollo de la ontología; más aún, pocas metodologías ofrecen herramientas de *software* para apoyar dicho proceso. A pesar de contar con modelos para representar la evolución de ontologías no se cuenta aún con métodos y técnicas que se soporten en las ventajas inherentes de los sistemas de etiquetado social (del inglés, *Social Tagging System*) para facilitar el proceso de captura continua de nuevos términos. En este sentido, Walter y Naypal, 2007, Hunter, 2008, y Cernea *et al.*, 2008, han propuesto el uso del etiquetado social como un método útil para soportar la colaboración y como mecanismo para permitir la evolución de la ontología.

El método que se propone en este artículo facilita la evolución de ontologías a partir de las contribuciones hechas por expertos de dominio mediante el etiquetado social de imágenes médicas y se puede integrar en una metodología existente para el desarrollo de ontologías. El método combina, por una parte, conceptos de las folksonomías y de las redes sociales con herramientas existentes como editores de ontologías. Por otra, amplía la participación de expertos de dominio, distribuidos geográficamente, considerándola como una comunidad que descubre cambios.

El resto de este artículo está organizado como sigue. En la sección Trabajos Relacionados, se describen métodos propuestos en la literatura para la captura del cambio ontológico, se comparan las metodologías para el desarrollo de ontologías y se describen las folksonomías y su representación a partir de modelos conceptuales existentes. En la sección Método para la Captura del Cambio se describe el método y los procesos que se llevan a cabo para descubrir necesidades de cambio. En la sección Soporte Tecnológico, se describe la herramienta de *software* que facilita la evolución de ontologías, extendiendo modelos y *software* existente. El artículo finaliza con la sección Discusión, Conclusiones y Trabajo Futuro.

TRABAJOS RELACIONADOS

Con relación a la evolución, Oliver *et al.*, 1999, proponen un modelo conceptual, las operaciones de cambio y un modelo de documentación del cambio para la gestión de la terminología médica controlada. Stojanovic *et al.*, 2002, formalizan el proceso de evolución y proponen estrategias para gestionar los cambios durante la evolución, como se ilustra en la figura 1. El proceso de evolución se divide en seis fases: captura del cambio, representación del cambio, semántica del cambio, propagación del cambio, implementación del cambio y validación del cambio. En particular, en la fase de captura del cambio, Stojanovic *et al.* proponen un enfoque dirigido por el usuario para descubrir cambios a través del uso de la ontología. Klein, 2004, discute el versionado de las ontológicas en un marco de trabajo, donde los principales elementos son las operaciones de cambio ontológico, la noción de cambio complejo, el conjunto de transformación y los formatos para la especificación del cambio. Recientemente, Palma, 2009, aborda la gestión de cambios en ambientes distribuidos para dar soporte al desarrollo colaborativo de ontologías, propone un modelo de metadatos de ontologías para identificar si una ontología ha cambiado y un modelo para la representación de cambios en ontologías que provee la base para los métodos y estrategias para su gestión y propagación.

Por otra parte, varias metodologías han sido propuestas para facilitar la construcción de

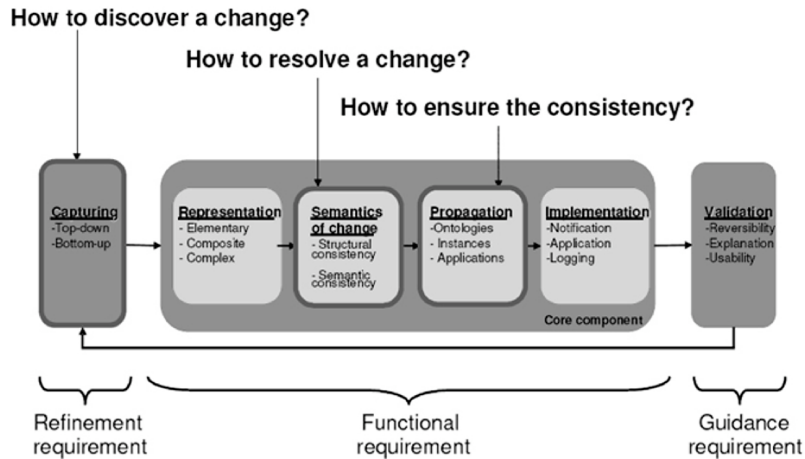


Figura 1. Proceso de evolución de ontologías. Tomada de: *Methods and Tools for Ontology Evolution*. 2004. p. 76. Stojanovic, 2004.

ontologías (Jones, 1998; Fernández-López y Gómez-Pérez, 2003; García, 2007), entre otras, *TOVE* (Grüninger, 1995), *METHONTOLOGY* (Gómez-Pérez *et al.*, 1996), *SENSUS* (Swartout, 1996), *Enterprise Methodology* (Uschold, 1998), *DILIGENT* (Pinto *et al.*, 2004), *MP* (García *et al.*, 2006) y *NeOn* (Gómez-Pérez *et al.*, 2008). Sin embargo, ninguna de las metodologías propuestas ha sido lo suficientemente usada para dar prueba de su generalidad, y algunas se han creado para dar solución a problemas específicos (García *et al.*, 2006). Por ejemplo, *SENSUS*, *Enterprise Methodology*, *TOVE* y *METHONTOLOGY* se diseñaron para ambientes centralizados en los cuales un grupo de expertos de dominio se reúne con el propósito de desarrollar la ontología para, posteriormente, liberarla. El desarrollo de la ontología, en este contexto, no se apoya en contribuciones provenientes de una comunidad de expertos y las subsecuentes versiones se generan a partir de nuevas reuniones del grupo de expertos inicialmente convocado. El ciclo de vida considerado por estas metodologías no incluye, explícitamente, aspectos relativos al cambio en el conocimiento representado. Metodologías más recientes como *DILIGENT*, *NeOn* y *MP* no sólo consideran el cambio en el conocimiento representado, sino también la participación de una comunidad más amplia de expertos de dominio que interactúan con el fin de capturar nuevo conocimiento. Estas metodologías asumen la evolución como parte integral de un ciclo de vida iterativo en el cual, la ontología está en constante evolución. El ciclo de vida de la ontología se considera abierto y dentro de éste la ontología evoluciona de manera dinámica. Todas las metodologías, de acuerdo con García *et al.*, 2009, tienen en común las fases de inicio, formalización y evaluación. La figura 2, muestra las fases comunes entre las metodologías.

En la fase de inicio, se construye una conceptualización inicial del dominio del problema, se definen los requerimientos y los escenarios en los cuales la ontología será usada. En la fase de formalización, se construyen modelos del lenguaje natural, lo cual no implica la utilización de lógicas formales. En la fase de evaluación, los modelos se evalúan por medio de un marco de referencia o mediante lógicas formales para los casos en los cuales la ontología contiene axiomas. El proceso se lleva a cabo como una

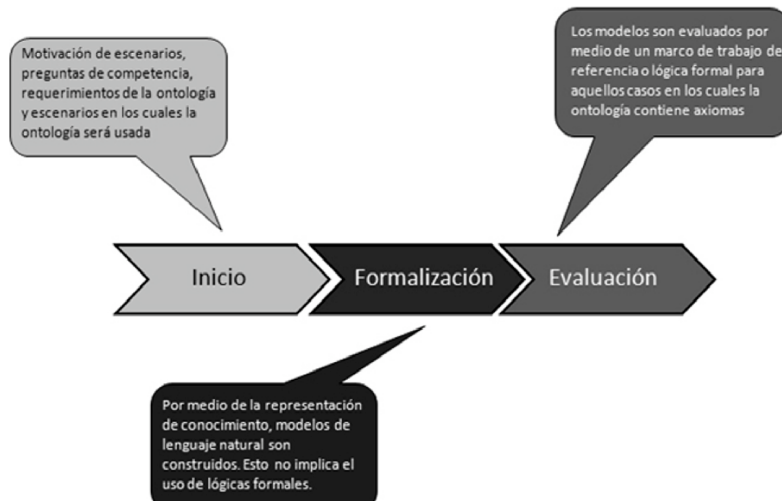


Figura 2. Aspectos comunes entre las metodologías. Adaptada de: *Developing ontologies in decentralised settings*. 2009. p. 11. García *et al.*, 2009.

espiral evolutiva (García, 2007) en la cual el modelo ontológico evoluciona a medida en que se adicionan o cambian clases, propiedades o instancias.

Común a los modelos evolutivos presentados, y a las últimas metodologías, la participación compartida de las comunidades de práctica, en la construcción y desarrollo del conocimiento es de gran importancia (Gómez-Pérez *et al.*, 2008). Sobre la base de los aportes hechos por expertos de dominio se apoya la inclusión o edición del conocimiento en las ontologías. Un escenario sobre el cual se da soporte a la participación masiva, con el fin de recopilar información, es el de las Folksonomías, estudiadas con múltiples propósitos, entre los cuales tienen relevancia, para el presente trabajo, aquellos estudios que permiten modelar la información contenida en las folksonomías así como el enriquecimiento de las mismas a partir de la adición de contenido semántico.

Las folksonomías, llamadas sí como resultado de la unión de *folk* (gente en inglés) y taxonomía, definen un sistema de clasificación distribuido generado por usuarios, emergiendo a través de un consenso de arriba a abajo (Van der Wal, 2007). Esto fomenta la colaboración y el intercambio ágil de información entre usuarios que gira en torno a un propósito, meta o interés común (Zhang, 2009). Construir una folksonomía consiste en etiquetar recursos, lo cual, de forma implícita, permite establecer una relación entre quien etiqueta, la etiqueta y el recurso etiquetado. Sistemas de etiquetado colaborativo como *Connotea* (<http://www.connotea.org>) o *Picasa* (<http://picasaweb.google.com>), permiten asociar una o más etiquetas a un recurso digital (*e.g.* páginas web, imágenes, artículos científicos). De igual manera, facilitan la generación de etiquetas personalizadas que, en principio, le sirven, al autor de las mismas, como un marcador que facilita la ubicación del recurso y la agrupación de recursos con una misma etiqueta. Una vez creadas, generalmente, le sirven a la comunidad para encontrar recursos posiblemente similares (Heymann y García-Molina, 2008). Estos sistemas tienen características comunes como la búsqueda de recursos a partir de las etiquetas disponibles, la facilidad para establecer

asociaciones entre usuarios con recursos anotados similares y la posibilidad de establecer asociaciones de parámetros como popularidad, calidad del recurso y *ranking* de usuarios (Mathes, 2004). Sin embargo, las folksonomías presentan problemas como ambigüedad, sinonimia y polisemia (Kim *et al.*, 2008). Esos problemas se deben a la naturaleza abierta y libre del etiquetado colaborativo y a su dependencia de las habilidades, experiencias e intereses de quien etiqueta (Nauman *et al.*, 2008). Por ejemplo, un usuario puede utilizar la etiqueta “jaguar” para referirse al animal mientras que otro puede usarla en relación a la marca de automóviles. De igual forma, se pueden presentar variaciones morfológicas, de estilo y de idioma como *web_semántica*, *sw*, *semWeb*, *sem_web*, etc. Lo anterior dificulta la recuperación de recursos etiquetados y la definición de relaciones semánticas entre recursos y etiquetas.

A pesar de que las ontologías y las folksonomías son, en principio, artefactos antagónicos como se ilustra en la Tabla 1, la coexistencia de ambas estructuras ha sido reportada como beneficiosa (Lawrence y Schraefel, 2006; Gruber, 2007; Ilic *et al.*, 2007; Heymann y García-Molina, 2008). Por un lado, las ontologías pueden dar mayor rigurosidad a las folksonomías en la medida en que, por ejemplo, las etiquetas se puedan estructurar en conocimiento preexistente (Passant y Laublet, 2008; Common Tag, <http://www.common-tag.org/>). Por otro, las folksonomías pueden facilitar el proceso evolutivo de las ontologías por cuanto crean ambientes en los cuales, constantemente, se recopila evidencia, un recurso anotado y un descriptor de ese recurso (Braun *et al.*, 2007). Golder y Hubermann (Golder y Hubermann, 2006), han reportado que el uso de etiquetas para recursos individuales se estabiliza en el tiempo. Este resultado es consistente con la tendencia, observada por Sen *et al.*, 2006, de usar con más frecuencia etiquetas preexistentes, que generar nuevas. Debido a la disposición por parte de los usuarios de reutilizar las etiquetas existentes, éstas tienden a estabilizarse en el tiempo, lo cual facilita la estandarización en el uso de términos con relación al recurso marcado. De igual manera, se ha reportado que el uso de vocabularios basados en etiquetas provistas por usuarios, conectados socialmente, por ejemplo comunidades de práctica, se traslapa de manera más significativa que aquellos provenientes de usuarios seleccionados al azar (Marlow *et al.*, 2006).

De igual manera, la relación entre las ontologías y los Sistemas de Etiquetado Colaborativo (del inglés, *Collaborative Tagging Systems - CTS*) ha sido también estudiada por autores como Almeida *et al.*, 2008, Braun *et al.*, 2007, Gendarmi y Lanubile, 2006, Van Damme *et al.*, 2007, y Shakya, 2008. En estos estudios, también se identifica la utilidad que este tipo de mecanismos de participación tiene en el soporte al desarrollo de ontologías sin hacer explícito un método en particular. Los CTSs son, en principio, estructuras sencillas en las cuales existe un recurso etiquetable, una etiqueta y un etiquetador. Diferentes modelos para soportar estas estructuras se han propuesto, tales como *MOAT (Meaning Of A Tag)*, <http://moat-project.org/>; Passant y Laublet, 2008) para representar una acción de etiquetado, mientras que el conjunto de etiquetas en un ambiente social se representa con el modelo *SCOT (Semantic Cloud Of Tag)*, <http://scot-project.org/>; Kim *et al.*, 2008a) y de *FOAF (Friend Of A Friend)*, <http://www.foaf-project.org/>) para representar la interacción y conformación de la red social.

Característica	Ontología	Folksonomía
Estructura	Compleja	Plana
Orientación	Vertical	Horizontal
Agente creador	Grupo reducido de expertos.	Grupo amplio y abierto de usuarios, no requiere de conocimientos avanzados.
Evolución	Puntual, controlable	Continua, permanente e indefinida.
Sustrato lógico o formal	Potencialmente complejo y expresivo (p.e.: lógica descriptiva).	Virtualmente inexistente: una mera colección de símbolos.
Razonamiento	Capaz de razonamiento (deducción de nuevo conocimiento).	Se puede tratar estadísticamente (detección de correlaciones, etc.).
Ambigüedad	Idealmente inexistente	Inherentemente inevitable
Polisemia y sinonimia	Fácil de controlar	Difícil de controlar
Multilingüismo	Fácil de controlar	Difícil de controlar
Separación del significante y del significado	Posible	Imposible, sólo existe el significante
Costo de creación	Elevado. Debe ser asumido por unos pocos agentes.	Coste inicial nulo. El coste de su progresiva construcción se distribuye entre los usuarios
Potencial para su reutilización	Dependiente del dominio y el nivel de abstracción.	Reducido, los símbolos no tienen significado más allá del documento al que se asocian.

Tabla 1. Diferencias entre Ontologías y Folksonomías. Tomada de Integración de folksonomías y ontologías, Proyecto Morfeo-MyMobileWeb. 2008. p. 18.

MATERIALES Y MÉTODOS

Una metodología está compuesta por métodos y técnicas. Según Greenwood, 1973, y Gomez-Perez *et al.*, 2004, un método es un proceso o procedimiento general mientras que una técnica es una aplicación específica de un método y la forma en la cual éste se ejecuta. La figura 3, muestra la relación entre estos conceptos.

De acuerdo con la IEEE 9;IEEE, 1995) un proceso es una función que se lleva a cabo dentro del ciclo de vida del *software*. Un proceso está compuesto por actividades. Una actividad se define como una tarea propia de un proceso. Una tarea es una unidad atómica de trabajo que se puede supervisar, evaluar y medir. Más formalmente, una tarea es un trabajo bien definido asignado a uno o más miembros de un proyecto. Las tareas relacionadas usualmente se agrupan en actividades. De esta manera, el método para captura del cambio se describe con base en los siguientes procesos: i. Cargar recurso y ontología(s): se cargan las imágenes radiológicas al igual que la(s) ontología(s) necesaria(s) para la anotación semántica; ii. Producción del cambio: se hace un cambio en la ontología desde el editor de ontologías e inmediatamente se dispara un subproceso de monitoreo de cambios; iii. Etiquetado de una imagen: una etiqueta se asocia a un componente de la ontología, una región de interés dentro de la imagen y al cambio; iv. Publicación de la etiqueta: las etiquetas generadas por los expertos de manera individual, se publican en una nube de etiquetas con el fin de que la comunidad las conozca y valide

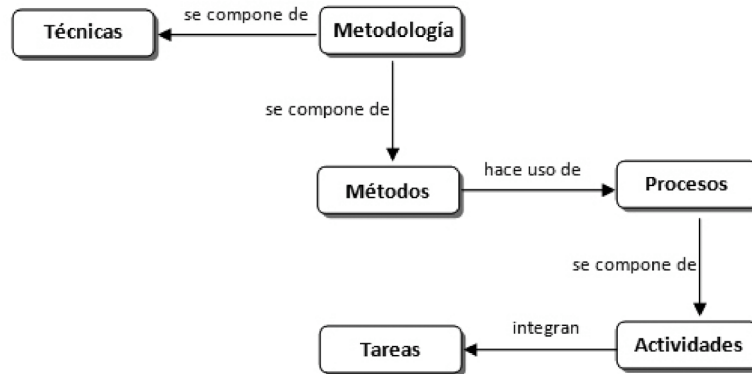


Figura 3. Relación entre metodologías, métodos y técnicas.

a través de su reutilización; v. Asignación de pesos: se asigna un peso a una etiqueta. El peso cada vez es más alto a medida que más expertos la usan; vi. Reporte de cambios: con base en la nube de etiquetas y en el peso de cada una, se determina si se reportarán cambios y vii. Aceptación o rechazo de cambios, proceso en el cual el curador de la ontología, finalmente, acepta o rechaza los cambios. La figura 4, describe este proceso. La estructuración de la participación de una comunidad de expertos permite controlar la calidad de las ontologías. A medida en que los usuarios proponen nuevas etiquetas, se relacionan con áreas de interés de una imagen, se publican y se reutilizan por la comunidad, constantemente, se validan las ontologías de trabajo. En este sentido, el método se apoya en el conocimiento masivo, que se espera sea más utilizado en cuanto más aceptado esté por la misma comunidad.

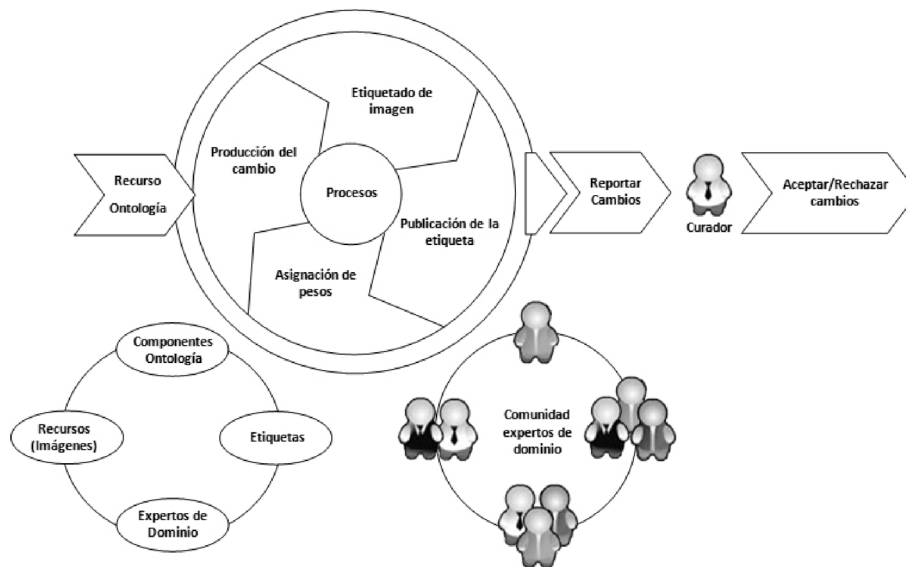


Figura 4. Proceso para la captura del cambio.

SOPORTE TECNOLÓGICO

A pesar de contar con ejemplos dentro del dominio biomédico, en los cuales se usa el etiquetado semántico de imágenes, estos no dan libertad ni facilitan las herramientas metodológicas para permitir la evolución de las ontologías sobre la base de la contribución de aquellos que llevan a cabo las anotaciones. Por ejemplo, iPAD (*image Physician Annotation Device*; Rubin *et al.*, 2008) usa *RadLex* para facilitar el proceso de anotación semántica de archivos *DICOM*, a través de una interfaz de manipulación directa de anotación, construida sobre el visualizador *DICOM OSIRIX* (<http://www.osirix-viewer.com/>). Sin embargo, iPAD no ofrece una solución para aquellos casos en los cuales el término requerido no esté presente en la ontología o la anotación requiera de varias ontologías. iPAD+ provee un método y técnicas para soportar la captura masiva de conocimiento con el fin de facilitar la evolución colaborativa de ontologías. En la figura 5, se muestra la arquitectura conceptual de iPAD+ que reusa y extiende la arquitectura subyacente de *Protégé* (Gennari *et al.*, 2002) y sus extensiones tales como *Collaborative Protégé* (Tudorache *et al.*, 2008a) y *Web Protégé* (Tudorache *et al.*, 2008b).

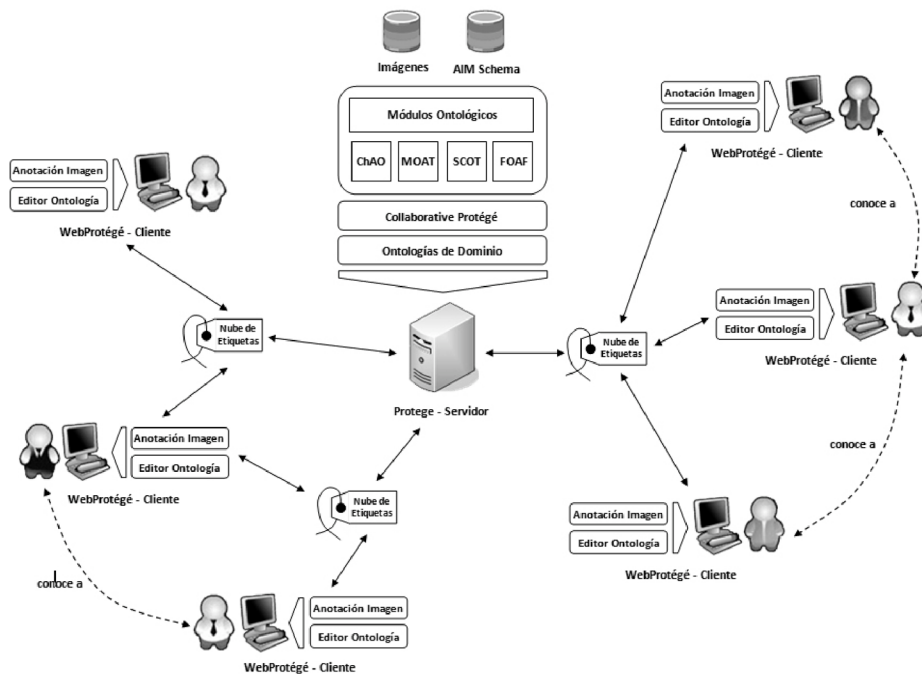


Figura 5. Arquitectura conceptual de iPAD+

La arquitectura, por un lado, le permite al usuario manejar y manipular tanto los recursos a etiquetar (imágenes y elementos atómicos dentro de las mismas) como las etiquetas y, por otro, permite editar las ontologías sobre la base de las etiquetas privadas y de las etiquetas generadas por la comunidad. De esta manera, los expertos de dominio pueden añadir, cambiar o eliminar términos o relaciones. Las interacciones entre usuarios se basan en FOLKRAD, un modelo conceptual extendido que se deriva de la combi-

nación de FOAF, MOAT, SCOT y otros, como se observa en la figura 6. Adicionalmente, el manejo de la inteligencia colectiva, genera un repositorio de imágenes médicas anotadas por expertos de dominio y sobre las cuales se pueden calcular estadísticas para identificar aquellas con mayor nivel de confianza en la etiqueta usada. Las tripletas generadas a partir de la información recopilada se representan como *LINKED DATA* (<http://linkeddata.org/>), lo cual hace posible la ejecución de consultas usando *SPARQL* (Prud'hommeaux y Seaborne, 2006) tales como, "imágenes de cráneo con una desviación lateral derecha". Estas consultas son de tipo conceptual y mezclan términos de varias ontologías, además de las etiquetas disponibles en la anotación de las imágenes. En este caso, cráneo proviene de FMA (Rosse y Mejino, 2007) mientras que "desviación lateral derecha" es una etiqueta generada por un usuario. La Figura 7, muestra un ejemplo sobre el marcado de una imagen radiológica con varias instancias para la fractura de hueso. La consulta se puede hacer más específica, por ejemplo, restringiendo las etiquetas a aquellas hechas por un usuario específico o en combinación con una estructura anatómica determinada. Al usar *LINKED DATA* se facilita el encadenamiento de recursos externos a las tripletas generadas. Por ejemplo, para el ejemplo dado, cráneo se podría enlazar con cráneo en *DBPEDIA*. Este encadenamiento puede ser automático gracias a relaciones del tipo sameAs existentes o a la adición de mapeo entre la información de la folksonomía y las ontologías relacionadas.

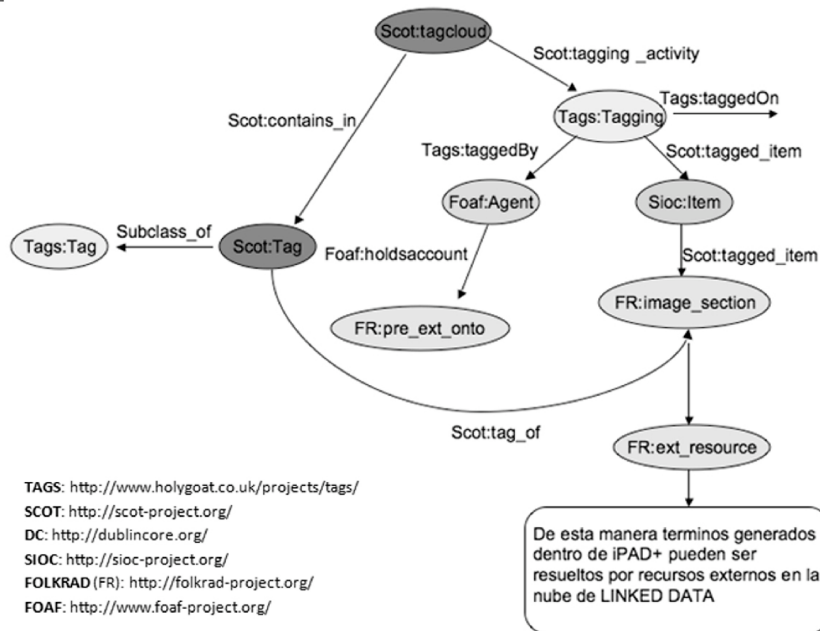


Figura 6. FOLKRAD.

El acceso a las ontologías se lleva a cabo a través de la interfaz RESTful de Bioportal (Noy et al., 2009) mientras que las interfaces de usuario se soportan sobre *Web Protégé*. Con el fin de facilitar la reutilización de las etiquetas generadas por otros usuarios sobre el mismo

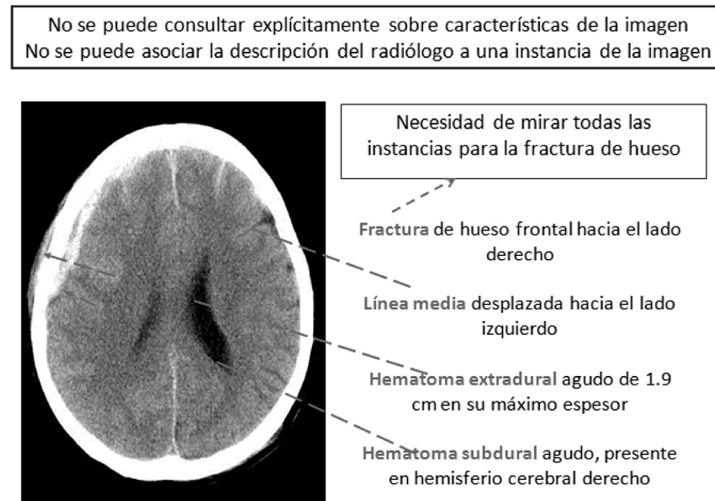


Figura 7. Marcado de una imagen radiológica con varias instancias para la fractura de hueso.

recurso, iPAD+ genera una nube de etiquetas para cada recurso. Una funcionalidad adicional sobre la nube de etiquetas es la facilidad para construir consultas arrastrando elementos de la nube. A través de iPAD+ se recopila la evidencia (recurso etiquetado) y el término. Además, para los casos en los cuales se provea un término nuevo se captura la posición n de este en la jerarquía ontológica con la que se esté trabajando.

De particular utilidad es la facilidad para relacionar términos existentes. Por ejemplo, los expertos de dominio pueden relacionar cráneo y cavidad ocular a través de la relación *is_part_of*. Las relaciones, al igual que las clases, se pueden reusar o generar de nuevo. Algunas relaciones que facilitan la no ambigüedad de términos como *is_same_as*, *is_different_from* son provistas por el sistema, de manera que los expertos de dominio pueden establecer relaciones de equivalencia entre términos. La resolución con recursos externos es definida por el usuario y por lo tanto, los expertos de dominio pueden encadenar un término o un recurso etiquetado a un recurso *Web* capaz de proveer más información.

DISCUSIÓN

Se ha presentado una aproximación para apoyar la participación masiva de comunidades de práctica con el propósito de facilitar la evolución de la ontología y la elicitación masiva de conocimiento. Al mismo tiempo, los ingenieros ontológicos pueden acceder a la evidencia sobre la cual se soporta un término (relación o clase), siendo también posible, tener acceso a fuentes externas de información. De la misma manera, iPAD+ entrega un valor agregado al usuario ya que le permite manejar un repositorio de imágenes médicas sobre el cual puede llevar a cabo anotación atómica, sobre partes puntuales, de imágenes usando ontologías o etiquetas libremente generadas.

La construcción colaborativa de ontologías a partir de folksonomías ha sido estudiada por autores como Braum *et al.*, 2007, y Shakya, 2008; sin embargo, las pruebas reportadas no incluyen un alto número de usuarios, como se podría dar en un sistema de

etiquetado colaborativo. El uso de anotaciones en imágenes médicas ha aumentado gradualmente debido a las ventajas que representa para los usuarios, esto facilita, por tanto, hacer pruebas a mayor escala. Adicionalmente, las aproximaciones existentes no han sido aplicadas en este dominio en particular. El uso de folksonomías facilita involucrar tanto ingenieros ontológicos como expertos de dominio y usuarios, lo cual permite superar limitaciones como la evolución de ontologías en dominios dinámicos, la disminución de costos en cuanto a la participación de ingenieros ontológicos, y el entendimiento de la conceptualización del dominio por parte de los usuarios ya que ellos mismos participarían en el desarrollo de la ontología.

Adicionalmente, la participación de usuarios dentro de las folksonomías representa un proceso de negociación similar al que se lleva a cabo al construir ontologías (Braum, 2008). En ambos casos, se busca compartir información, recuperar en forma rápida información apropiada y relacionada, y aumentar el alcance del conocimiento en un dominio. Por lo anterior, es razonable el uso de ambientes sociales para facilitar la construcción de ontologías.

Por otra parte, permitir el establecimiento de relaciones entre términos, provenientes de la misma ontología, de las etiquetas generadas, o de otra ontología, facilita el mapeo de conceptos. Los mapas de relaciones así generados son usados por ingenieros de conocimiento para determinar, por ejemplo, estrategias de modularización. Siendo las ontologías biomédicas enormes estructuras con cientos de términos, modularizarlas, es cada vez más importante. Igualmente, teniendo en cuenta que las ontologías biomédicas son, en su gran mayoría, estructuras planas soportadas mayoritariamente sobre relaciones pobremente estructuradas, desde el punto de vista lógico, es importante para el ingeniero de conocimiento el contar con herramientas que le permitan llevar a cabo este tipo de recopilación masiva y estructurada de información.

Nuestra aproximación es tanto metodológica como de infraestructura, puesto que se modifican e instancian modelos existentes permitiendo una mayor colaboración, facilitando la evolución y dando un valor agregado a los usuarios -formulación más flexible de consultas además de un repositorio de imágenes médicas. Esta aproximación es factible de ser usada sobre casos en los cuales la evidencia concreta pueda ser dada sobre imágenes. Una limitación importante de nuestra propuesta es el no considerar, aún, el manejo de etiquetas sobre texto de diagnóstico. El facilitar la manipulación inteligente tanto de imágenes como de diagnósticos es un reto que se trabajará en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

A las instituciones de los autores.

BIBLIOGRAFÍA

AGUADO DE CEA G, ÁLVAREZ DE MON I, PAREJA-LORA A. Una visión interdisciplinar de la anotación semántica. En: Alcina A, Valero E, Rambla E, editors. Terminología y Sociedad del Conocimiento; 2009.

ALMEIDA A, SOTOMAYOR B, ABAITUA J, LÓPEZ-DE-IPÍÑA D. Folk2onto: Bridging the gap between social tags and ontologies. En: Proceedings of the 1st

International workshop on knowledge reuse and reengineering over the Semantic Web, Tenerife; 2008.

BRAUN S, SCHMIDT A, WALTER A. Ontology Maturing: A Collaborative Web 2.0 Approach to Ontology Engineering. En: Proceedings of the Workshop on Social and Collaborative Construction of Structured Knowledge (CKC) on the 16th International World Wide Web Conference (WWW 2007), Banff, Alberta, Canada; 2007.

BRAUN S, SCHMIDT A, WALTER A, NAGYPAL G, ZACHARIAS V. Ontology Approach for Collaborative and Work Integrated Ontology Development: Evaluation Results and Future Directions. En: International Workshop on Emergent Semantics and Ontology Evolution (ESOE-2007), ISWC 2007, Busan, Korea, November 12, 2007, CEUR Workshop Proceedings. 2007;292:5-18.

CERNEA DA, DEL MORAL E, GAYO JE. SOAF: Semantic Indexing System Based on Collaborative Tagging. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects*. 2008;4:151-165.

CONSORTIUM GO. Creating the gene ontology resource: design and implementation. *Genome Research*. 2001;11:1433,1425.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ M, GÓMEZ-PÉREZ A. Overview and analysis of methodologies for building ontologies. *Knowl Eng Rev*. 2003;17(2):129-156.

GARCIA A, ROCCA-SERRA P, STEVENS R, TAYLOR C, NASHAR K, RAGAN M, *et al*. The use of concept maps during knowledge elicitation in ontology development processes – the nutrigenomics use case. *BMC Bioinformatics*. 2006;7(1):267.

GARCIA A. Developing Ontologies in the Biological Domain. PhD thesis, Universidad of Queensland; 2007.

GARCIA A, O'NEILL K, GARCIA L, LORD P, STEVENS R, CORCHO O, *et al*. Developing ontologies in decentralised settings [Internet]. 2009 May 8 [cited 2010 Feb 10]; Disponible en: <http://precedings.nature.com/documents/3231/version/1>.

GENDARMI D, LANUBILE F. Community-Driven Ontology Evolution Based on Folksonomies [Internet]. En: On the Move to Meaningful Internet System 2006: OTM 2006 Workshops. 2006. p. 181-188. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/11915034_41.

GENNARI JH, MUSEN MA, FERGERSON RW, GROSSO WE, CRUBZY M, ERIKSSON H, *et al*. The Evolution of Protégé: An Environment for Knowledge-Based Systems Development. *J. Hum.-Comput. Stud*. 2002;58:89-123.

GOLDER S, HUBERMAN BA. The Structure of Collaborative Tagging Systems. *J. Inform. Sci*. 2005;32(2):198-208.

GÓMEZ-PÉREZ A, FERNÁNDEZ-LÓPEZ M, CORCHO O. Ontological Engineering: with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web. (Advanced Information and Knowledge Processing) [Internet]. Springer-Verlag New York, Inc.; 2004 [cited 2010 Feb 12]. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1199560>

GÓMEZ-PÉREZ A, FERNÁNDEZ M, DE VICENTE A. Towards a method to conceptualize domain ontologies. En: Workshop on Ontological Engineering, ECAI'96. 1996. p. 41-51.

GÓMEZ-PÉREZ A, SUÁREZ-FIGUEROA M, VILLAZÓN B. NeOn Methodology for Building Ontology Networks: Ontology Specification. 2008. Disponible en:

<http://kmi.open.ac.uk/events/sssw08/presentations/Gomez%20Perez-NeOn-Methodology-OntologySpecification-v3.pdf>

GREENWOOD, E. Metodología de la Investigación Social. Buenos Aires: Editorial Paidós; 1973.

GRUBER TR. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowl. Acquis.* 1993;5:199-220.

GRUBER TR. Toward Principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *J. Hum.-Comput. Stud.* 1995Nov;43(5-6):907-928.

GRUBER TR. Ontology of Folksonomy: A Mash-up of Apples and Oranges. *International Journal on Semantic Web & Information Systems.* 2007;3(2):11,1. Disponible en: <http://tomgruber.org/writing/ontology-of-folksonomy.thm>

GRÜNINGER M, FOX MS. Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies. En: *IJCAI'95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, April 13, 1995; 1995. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.44.8723>.

HUNTER J, KHAN I, CHERNICH R, GERBER A. Open Repositories 2.0: Harvesting Community Annotations to Enhance Discovery Services [Internet]. 2008. Abr [cited 2010 Feb 7]; Disponible en: <http://pubs.or08.ecs.soton.ac.uk/4/>.

HEYMANN P, GARCIA-MOLINA H. Can Tagging Organize Human Knowledge? Technical Report. Stanford University. 2008.

IEEE Standard for Developing Software Life Cycle Processes Superseded by 1074-1995.

ILIC K, KELLOGG EA, JAISWAL P, ZAPATA F, STEVENS PF, VINCENT LP, *et al.* The plant structure ontology, a unified vocabulary of anatomy and morphology of a flowering plant. *Plant Physiol.* 2007;143(2):587-599.

JONES D, BENCH-CAPON T, VISSER P. Methodologies for Ontology Development. En: *Proceedings of IT&KNOWS Conference of the 15th IFIP World Computer Congress*; 1998.

JONQUET C, MUSEN MA, SHAH N. A system for ontology-based annotation of biomedical data. En: *International Workshop on Data Integration in the Life Sciences (DILS)*. Evry, France. 2008.

KIM H, BRESLIN J, YANG S, KIM H. Social Semantic Cloud of Tag: Semantic Model for Social Tagging. En: *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*; 2008a. p. 83-92.

KIM H, SCERRI S, BRESLIN J, DECKER S, KIM H. The State of the Art in Tag Ontologies: A Semantic Model for Tagging and Folksonomies. En: *International Conference on Dublin Core and Metadata Applications*. 2008b. Disponible en: http://scot-project.org/pubs/Kim_TagOnt.pdf.

KLEIN M. Change Management for Distributed Ontologies. 2004. Disponible en http://www.cs.vu.nl/en/Images/klein_tcm75-92601.pdf

LAWRENCE KF, SCHRAEFEL MC. Bringing communities to the semantic web and the semantic web to communities [Internet]. En: *Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web*. Edinburgh, Scotland: ACM; 2006 [cited 2010 Feb 11]. p. 153-162. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1135777.1135805>

MATHES A. Folksonomies - Cooperative classification and Communication Through Shared Metadata. Computer Mediated Communication - LIS590CMC. 2004; Disponible en: <http://www.adammathes.com/academic/computer-mediated-communication/folksonomies.html>

MARLOW C, NAAMAN M, BOYD D, DAVIS M. HT06, tagging paper, taxonomy, Flickr, academic article, to read [Internet]. En: Proceedings of the seventeenth conference on Hypertext and hypermedia. Odense, Denmark: ACM; 2006 [cited 2010 Mar 11]. p. 31-40. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1149949>

MÖLLER M, REGEL S, SINTEK M. *RadSem*: Semantic Annotation and Retrieval for Medical Images. En: Proceedings of the 6th European Semantic Web Conference on the Semantic Web: Research and Applications. Heraklion, Crete, Greece: Springer-Verlag; 2009. p. 21-35.

NAUMAN M, KHAN S, AMIN M, HUSSAIN F. Resolving Lexical Ambiguities in Folksonomy Based Search Systems through Common Sense and Personalization. En: Proceedings of the Workshop on Semantic Search (SemSearch 2008) at the 5th European Semantic Web Conference (ESWC 2008), Tenerife, Spain; 2008(334).

NOY NF, SHAH NH, WHETZEL PL, DAI B, DORF M, GRIFFITH N, *et al.* BioPortal: ontologies and integrated data resources at the click of a mouse. *Nucleic Acids Res.* 2009 ;37(Web Server issue):W170-W173.

OLIVER DE, SHAHAR Y, SHORTLIFFE EH, MUSEN MA. Representation of Change in Controlled Medical Terminologies. *Artificial Intelligence in Medicine.* 1999;15:53-76.

PALMA R. Ontology Metadata Management in Distributed Environments. Ph. D. Thesis, Universidad Politécnica de Madrid; 2009.

PASSANT A, LAUBLET P. Meaning Of A Tag. A collaborative approach to bridge the gap between tagging and Linked Data. En: Proceedings of the WWW 2008 Workshop Linked Data on the Web (LDOW2008), Beijing, China; 2008.

PINTO HS, STAAB S, TEMPICH C. DILIGENT: Towards a fine-grained methodology for Distributed, Loosely-controlled and evolving Engineering of oNTologies. En: Proceedings of ECAI; 2004.

PRUD'HOMMEAUX E, SEABORNE A. SPARQL Query Language for RDF. W3C Working Draft. 4 October 2006. Disponible en: <http://www.w3.org/TR/2004/WD-rdf-sparql-query-20041012/>

ROSSE C, MEJINO JL. The Foundational Model of Anatomy Ontology in: Burger A, Davidson D, Baldock R. (eds.), *Anatomy Ontologies for Bioinformatics: Principles and Practice.* New York: Springer; 2007. p. 59-117.

RUBIN DL, RODRIGUEZ C, SHAH P, BEAULIEU C. iPad: Semantic Annotation and Markup of Radiological Images. *AMIA Annu Symp Proc.* 2008;2008:626-630.

SEN S, LAM SK, RASHID AM, COSLEY D, FRANKOWSKI D, OSTERHOUSE J, *et al.* tagging, communities, vocabulary, evolution [Internet]. En: Proceedings of the 2006 20th anniversary conference on Computer supported cooperative work. Banff, Alberta, Canada: ACM; 2006 [cited 2010 Mar 11]. p. 181-190. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1180904>

SHAKYA A, TAKEDA H, WUWONGSE V. StYLID: Social information sharing with free creation of structured linked data. En: Proceedings of the Social Web and Knowledge Management Workshop; 2008. p. 33-40.

STOJANOVIC L, MAEDCHE A, MOTIK B, STOJANOVIC N. User-Driven Ontology Evolution Management. En: Knowledge Engineering and Knowledge Management: Ontologies and the Semantic Web; 2002. p. 133-140.

STUDER R, BENJAMINS VR, FENEL D. Knowledge Engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering. 1998,25(1-2):161-197.

SWARTOUT B, RAMESH P, KNIGHT K, RUSS T. Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies. En: Proceedings of the Tenth Workshop on Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems; 1996.

TUDORACHE T, NOY N, TU S, MUSEN M. Supporting collaborative ontology development in Protégé. The Semantic Web-ISWC 200; 2008a:17-32.

TUDORACHE T, VENDETTI J, NOY N. Web-Protege: A Lightweight OWL Ontology Editor for the Web. In 5th OWL Experiences and Directions Workshop (OWLED 2008); 2008b.

USCHOLD M, KING M, MORALEE S, ZORGIOS Y. The Enterprise Ontology. The Knowledge Engineering Review. 1998;13(01):31-39.

VAN DAMME C, HEPP M, SIORPAES K. FolksOntology: An Integrated Approach for Turing Folksonomies into Ontologies. En: Bridging the Gap between Semantic Web and Web 2.0 (SemNet 2007); 2007. p. 57-70.

VANDER WAL T. Folksonomy Coinage and Definition; 2007. Disponible en: <http://vanderwal.net/folksonomy.html>

WALTER A, NAGYPAL G. IMAGENOTION: collaborative semantic annotation of images and image parts and work integrated creation of ontologies. En: Proceedings of 1st Conference on Social Semantic Web. 2007.

ZHANG Z, CHEUNG K, TOWNSEND JP. Bringing Web 2.0 to bioinformatics. Brief Bioinform. 2009;10(1):1-10.