

Grafárboles ontológicos: un mecanismo conceptual de representación de ontologías

Grafárboles ontological: a mechanism conceptual ontology representation

Julio César Chavarro Porras^{1*}, Carlos Augusto Meneses Escobar²

^{1,2}Docentes Ingeniería de Sistemas, Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia
jchavar@utp.edu.co

Resumen— Se presenta una perspectiva de modelado conceptual del cambio de las ontologías, la cual permite definir los requerimientos de cambio de manera independiente del lenguaje de implementación utilizado en la construcción de la ontología. El modelo propuesto, se fundamenta en una estructura de representación basada en arcos y nodos, denominada Grafárbol. El modelo se compone de un componente estructural, un componente dinámico, y un conjunto de restricciones.

Palabras clave— Representación del conocimiento, ontologías, Gestión del Cambio ontología, Web Semántica

Abstract— We present a conceptual modeling perspective of ontology change, which allows to define the requirements change independently of the implementation language used in the construction of ontology. The proposed model is based on a representative structure based on links and nodes, called Grafárbol. The model consists of a structural component, a dynamic component, and a set of constraints.

Key Word — Knowledge Representation, Ontology, Ontology Change Management, Semantic Web

I. INTRODUCCIÓN

Durante su ciclo de vida, una ontología está sujeta a cambios que pueden provenir de cambios en el dominio, en la conceptualización o en su especificación [1]. Para incorporar estos cambios en la ontología, se depende fuertemente del lenguaje en que ésta fue implementada. Esta característica, limita la reutilización de las ontologías [2], [3], [4]. Por ejemplo, en el proceso de construcción de una nueva ontología, es posible requerir mezclar, integrar o cortar partes de varias ontologías, las cuales pueden estar implementadas en diferentes lenguajes, aún perteneciendo al mismo dominio. En este caso, sería necesario, para gestionar estas operaciones de cambio, utilizar herramientas de edición ontológica para trabajar sobre los elementos o sobre las estructuras que conforman las ontologías. Es decir, la edición estaría ligada al lenguaje de implementación de las ontologías.

Es posible extraer, de las ontologías que se han implementado, los conceptos, atributos, relaciones, tipos de datos, axiomas, e instancias que describen su conceptualización y representarlos en el nivel conceptual y en

forma independiente al lenguaje utilizado en su implementación. En el trabajo adelantado en esta investigación, se establece como hipótesis, que en este nivel de conceptos, se pueden hacer las operaciones sobre los elementos que representan la conceptualización del dominio y, posteriormente, generar la ontología actualizada.

Este artículo presenta un modelo conceptual para gestionar las operaciones de cambio ontológico. El modelo está compuesto por, un componente estructural para representar los elementos que constituyen una ontología, este componente estructural se presenta bajo el nombre de Grafárbol, y un componente dinámico conformado por operadores que permiten representar el cambio efectuado sobre una o varias ontologías, y por las restricciones que garantizan la consistencia del modelo, el componente dinámico es modelado mediante operaciones definidas sobre la estructura Grafárbol. El modelo propuesto, es la base para la construcción de un lenguaje declarativo para describir el cambio ontológico en términos de los requerimientos de cambio de la ontología. El lenguaje no es cubierto por el presente artículo.

El artículo está organizado de la siguiente forma: la sección 2, presenta una definición de los componentes estructurales de una ontología. Las secciones 3 y 4 presentan los componentes estructural y dinámico del modelo conceptual respectivamente. La sección 5, presenta mecanismos de implementación del Grafárbol y un resumen de las pruebas realizadas en el framework de implementación.

II. COMPONENTES ESTRUCTURALES EN UNA ONTOLOGÍA.

Una definición de ontología, ampliamente aceptada es la propuesta por Gruber [6] y refinada en el trabajo de Studer et al. [7]: “Una ontología es una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida”.

A partir de esta definición, se han propuesto diferentes formalizaciones que permiten identificar las entidades y restricciones que la conforman: Guarino [9], Stojanovic [4], Klein [2], Maedche [8], Euzenat y Shvaiko [5], entre otras; La siguiente definición es tomada de Euzenat y Shvaiko [5], será utilizada para establecer un punto de comparación, entre

los elementos que conforman estructuralmente una ontología y los elementos modelados a través del modelo conceptual propuesto.

Definición 1. (Ontología)

Una ontología es una tupla, $O = (C, I, R, T, V, \leq, \perp, \in, =)$, tal que

- C , es el conjunto de conceptos o clases, se interpretan como un conjunto de individuos y constituyen los elementos principales de una ontología.
- I , es el conjunto de individuos, objetos o instancias, interpretados como elementos particulares de un dominio.
- R , es el conjunto de relaciones, Son un subconjunto del producto del dominio, corresponden al concepto ideal de relación. Las entidades pueden ser conectados por diversos tipos de relaciones, incluyendo: Especialización, Partición, o Relaciones Funcionales.
- T , es el conjunto de tipos de datos;
- V , es el conjunto de valores (C, I, R, T, V siendo cada par disjunta), son valores simples.
- \leq es una relación sobre $(C \times C) \cup (R \times R) \cup (T \times T)$ llamada especialización;
- \perp , es una relación sobre $(C \times C) \cup (R \times R) \cup (T \times T)$ llamada exclusión;
- \in , es una relación sobre $(I \times C) \cup (V \times T)$ llamada instanciación;
- $=$, es una relación sobre $I \times P \times (I \cup V)$ llamada asignación.

III. COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL MODELO CONCEPTUAL

Diferentes situaciones de modelado del mundo real, se pueden describir utilizando nodos y arcos. Tanto los nodos como las relaciones entre estos nodos se utilizan para representar jerarquías, asociaciones, o funciones, siendo común que los diversos tipos de relación coexistan en el mismo modelo. La necesidad de poder categorizar los tipos de relaciones y los tipos de nodos, motivan la introducción de una nueva estructura que hemos denominado Grafárbol.

En esta sección, se introduce el componente estructural del Grafárbol, como mecanismo para representar las diferentes entidades que componen una ontología.

Notación de punto: Si un conjunto tiene nombre, cualquier elemento del conjunto se puede nombrar así:

Nombre_del_conjunto.Elemento

Notación de punto para los árboles: Sea E un nodo padre, entonces los nodos hijos de E son el conjunto de elementos y

E es el nombre del conjunto. Por lo tanto, la notación de punto funciona en el árbol a partir del nodo raíz.

Definición 2. (Grafárbol, Tree-graph)

Sean los siguientes conjuntos:

- N : un conjunto de nodos, cuyos elementos pertenecen al conjunto finito "TipoDeNodo".
- A : un conjunto de arcos cuyos elementos pertenecen al conjunto finito "TipoDeArco", cuyos elementos son "ArcosFuncionales", "ArcosJerarquicos" y "ArcosDeAgregacion".
- "ArcosJerarquicos": un subconjunto de A , donde cada elemento es del tipo "EsUn" (IsA).
- "ArcosFuncionales": un subconjunto de A , donde cada elemento pertenece al conjunto "TipoDeArco".
- "ArcosAgregacion": un subconjunto de ArcosFuncionales, donde cada elemento es del tipo "ParteDe" (PartOf)

Un grafárbol se define:

$$\text{Grafarbol} = \{N, \text{ArcosJerarquicos}, \text{ArcosFuncionales}\} \quad (1)$$

que satisface las siguientes aseeraciones:

$$\forall x/x \in \text{ArcosJerarquicos}, x.\text{nodopadre} \in N \wedge x.\text{nodohijo} \in N$$

$$\forall y/y \in \text{ArcosFuncionales}, y.\text{nodoinicio} \in N \wedge y.\text{nodofin} \in N$$

Sujeto a:

1. Sea $x \in N$, existe un único nodopadre. $x = \text{null}$. x , es decir, el nodo raíz del árbol tiene como nodo padre a null.
2. Sean x, y, z elementos de N . Si $x.y \wedge z.y \rightarrow x=y$, es decir, todo nodo sólo puede aparecer como nodo hijo una vez.
3. Sean x, y, z elementos de N :
Si $x.y \in \text{Grafarbol} \wedge y.z \in \text{Grafarbol} \rightarrow z.x \notin \text{Grafarbol}$, es decir, el grafárbol es acíclico en sus relaciones jerárquicas.

Representación estructural de la ontología en un grafárbol

La definición de Grafárbol, se utiliza para representar la ontología, con sus operaciones y restricciones en una estructura de *Grafárbol Ontológico*.

Para representar el modelo ontológico en un Grafárbol, se utiliza la cualidad que le permite diferenciar tipos de nodos y tipos de relación. Las relaciones utilizadas en una ontología se pueden describir por medio de una jerarquía de relaciones como la representada en la figura 1. Las relaciones pueden ser Dirigidas o No Dirigidas, las primeras son jerárquicas (EsUn) o Funcionales. En el conjunto de las relaciones funcionales se destaca un subconjunto: Las relaciones de partes (ParteDe).

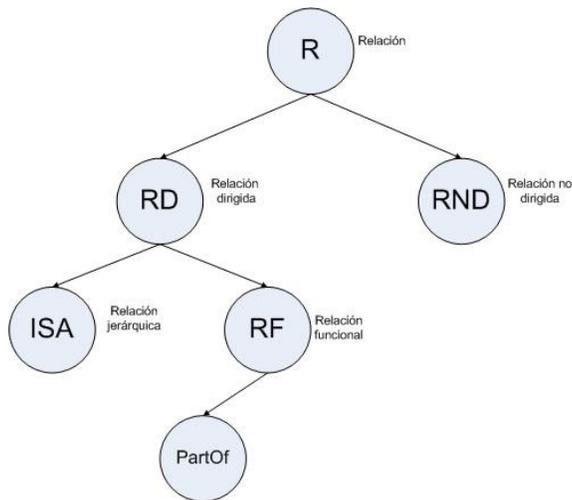


Figura 1. Jerarquía de las relaciones.

Cuando se diferencian los tipos de nodos, se puede conformar dos niveles en el Grafárbol: el nivel de términos, o nivel terminológico, y el nivel de instancias o individuos. El nivel de instancias, conforma un grafo a partir de las relaciones que se pueden describir entre los individuos o entre los individuos y los valores. Este nivel está interrelacionado con el nivel de términos por relaciones jerárquicas. El nivel terminológico proporciona una estructura de árbol conformado por la relación jerárquica (EsUn). Las relaciones funcionales, describen restricciones del dominio modelado.

Cada tipo de arco, agrupa las relaciones con base en el aspecto que expresan en el mundo real; un tipo de arco representa un aspecto o dimensión, reflejado en una “vista” del Grafárbol Ontológico, como se aprecia en la figura 2, que denota o describe los aspectos de:

1. Jerarquía, arcos (EsUn - IsA)
2. Composición, arcos (ParteDe - PartOf)
3. Arcos funcionales (Asociation).

La figura 2, representa en una imagen tridimensional, las características descritas: dos tipos de nodos (conceptos e individuos) y tres tipos de arcos para representar los tipos de relación, proporcionan una vista del modelo propuesto de Grafárbol Ontológico.

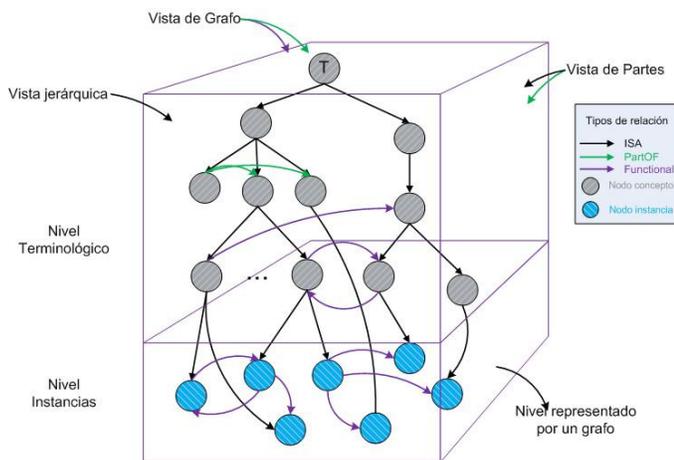


Figura 2. Grafárbol ontológico y sus vistas posibles.

Algunas cualidades del modelo de Grafárbol Ontológico, son:

- **Expresividad:** El modelo de *Grafárbol Ontológico* restringe su expresividad a dos tipos de nodo, tres tipos de relaciones y restricciones del modelo.
- **Simplicidad:** Facilidad en la lectura y simplicidad en la comprensión del modelo.
- **Minimalidad:** Cada concepto tiene un significado diferente. No es producido por la combinación de dos o más.
- **Formalidad:** Los conceptos del modelo tiene una interpretación precisa y bien formada.

Con base en la anterior descripción, podemos definir un Grafárbol Ontológico:

Definición 2 (Grafárbol Ontológico). Sean:

- C : un conjunto de Conceptos y Tipos de datos.
- I : un conjunto de Individuos o valores.
- $TiposDeNodo=\{CUI\}$: el conjunto formado por *NodosConcepto* C y *NodosIndividuo* I .
- $TiposDeArco=\{JUF\}$: el conjunto formado por *Arcos Jerárquicos* J y *Arcos Funcionales* F .
- P : un subconjunto de *Arcos Funcionales* F , $P \subseteq F$.
- N : un conjunto cuyos elementos pertenecen a *TiposDeNodo, y*
- A : un conjunto cuyos elementos pertenecen a *TiposDeArco*.

Una ontología, se representa como un conjunto integrado por una estructura del tipo *Grafárbol Ontológico* G_{gf_0} y un conjunto de etiquetas o anotaciones:

$$G_{gf_0} = (N(G_{gf_0}), A(G_{gf_0}), \Psi_{gf_0}, E(G_{gf_0}), F_{Gf_0}, H_{gf_0}) \quad (2)$$

donde:

- $N(G_{gf_0})$: el conjunto no vacío de nodos.
- $A(G_{gf_0})$: el conjunto no vacío de arcos,
- con $N(G_{gf_0})$ y $A(G_{gf_0})$ disjuntos.
- Ψ_{gf_0} : si $a_k \in A(G_{gf_0})$, $\Lambda, n_i, n_j \in N(G_{gf_0})$, entonces, $(a_k) = n_i, n_j$; donde n_i, n_j es un par ordenado, n_i nodo inicio y n_j nodo final.
- $E(G_{gf_0})$: el conjunto no vacío de etiquetas, $=\{e_j/e_j$ son etiquetas, $j=1,2,3,\dots,s\}$. Las etiquetas o anotaciones $(e_0, e_1, e_2, \dots, e_s, \dots)$, corresponden al

conjunto finito y disjunto en un lenguaje L , de nombres de etiquetas y de vértices.

- $F_{gf_0}(n_i)=e_j$: cada par (n_i, e_j) es único y está determinado por una función de asociación entre el elemento i del conjunto de nodos y el elemento j del conjunto de etiquetas.
- $H(a_m)=e_n$: establece una relación funcional única (a_m, e_n) , entre el elemento m del conjunto de arcos y el elemento n del conjunto de etiquetas.

Por simplicidad, se omiten las etiquetas y sus funciones. Éstas solo son referenciadas si una operación las afecta o compromete.

Definición 3 (Grafárbol Origen:)

Un grafárbol origen G_o es aquel cuyo único elemento es el nodo que representa el concepto T (Thing).

$$G_o = (N(G_{gf_0}), A(G_{gf_0}), \Psi_{gf_0})$$

donde,

$$N(G_{gf_0}) = \{T\}$$

$$A(G_{gf_0}) = \{\}$$

$$\Psi_{gf_0} = \{\}$$

Un Grafárbol ontológico está relacionado con la definición 1 de ontología de la siguiente forma: Los conceptos y los tipos de datos, se representan usando NodosConcepto C . Los Individuos y los literales se representan mediante NodosIndividuo I , Las relaciones entre conceptos, entre conceptos e individuos, entre individuos, entre conceptos y tipos de datos, o entre individuos y tipos de datos o valores, se representan usando Arcos A .

IV. COMPONENTE DINÁMICO: TIPOS DE OPERACIONES SOBRE GRAFÁRBOL

Las siguientes operaciones, constituyen el núcleo del conjunto de operadores que serán definidos para representar las operaciones conceptuales sobre una ontología. Las operaciones definidas sobre los grafos anotados, son:

A. Constructivas.

Permiten agregar o borrar nodos y arcos, dentro de un Grafárbol.

a.1 Agregar Nodo (ΔN)

$$(G_{gf_0} \Delta N n_i) = (N(G_{gf_0}) \cup \{n_i\},$$

$$A(G_{gf_0}) \cup \{a_i\},$$

$$\Psi_{gf_0}(a_i) = T, n_i).$$

a.2 Agregar Arco (ΔA)

$$(G_{gf_0} \Delta A a_j) = (N(G_{gf_0}),$$

$$A(G_{gf_0}) \cup \{a_j\},$$

$$\Psi_{gf_0}(a_j) = n_k, n_m,$$

$$\forall n_k, n_m \in (\mathcal{C} \cup I)).$$

a.3 Borrar Arco (∇A)

$$(G_{gf_0} \nabla A a_k) = (N(G_{gf_0}),$$

$$A(G_{gf_0}) \cup \{a_k\},$$

$$\Psi_{gf_0}(a_k) \in G_{gf_0}).$$

a.4 Borrar Nodo (∇N)

$$(G_{gf_0} \nabla N n_i) = (N(G_{gf_0}) - \{n_i\},$$

$$A(G_{gf_0}) - \{a_k | a_k \in \Psi_{gf_0}(a_k)\},$$

$$\Psi_{gf_0}(a_k) = X, n_i, y, n_i, X; \text{ Donde}$$

$$X \in N(G_{gf_0}).$$

B. Selección de contextos o dominios.

Permiten seleccionar elementos del Grafárbol, y establecer transformaciones de formato para encontrar equivalencias de dominio. Algunas de las operaciones que se proponen, incluyen etiquetas equivalentes, nodos adyacentes y nodos sucesores.

b.1 Nodos vecinos

$$\delta N n_i$$

b.2 Arcos Nodos j

$$\delta A n_j \quad \Psi(a_k), \text{ donde } n_j \in (X, n_j), V$$

$$\{a_k | \Psi(a_k), \dots, (n_j, X)\}$$

b.3 Arcos

por tipos

$$\delta A \leftrightarrow \left\{ \frac{esun}{\dots a} \right\} \cup \left\{ \frac{parteDe}{a_2} \right\} \cup \left\{ \frac{func}{(a_1, a_2) \dots} \right\}$$

b.4 Nodos por tipos $\delta N \leftrightarrow \{n_i/n_i \in \mathcal{C}\} \cup \{n_j/n_j \in I\}$

b.5 Etiquetas Nodo $i \quad \delta N \leftrightarrow {}^n i \{e_1, e_2, \dots\}, e_k$

b.6 Etiquetas Nodo $i l_i \quad \delta N n_{i,l_i} \{e_1, e_2, \dots\}, e_k \in l_i$

C. Patrones.

Son operaciones que permiten establecer correspondencias entre dos o más estructuras el tipo Grafárbol, o evaluar caminos posibles entre dos nodos, entre otras. Se caracterizan porque el resultado de estas operaciones no es una estructura del tipo Grafárbol. Entre otras se proponen:

c. 1. Segmentación (\Downarrow)

Sea G_{gf_0} un Grafárbol, es posible definir un Sub-Grafárbol de G_{gf_0} , tal que:

$$G_{gf_0} \Downarrow = (N(G_{gf_0}), A'(G_{gf_0})) \text{ no vacío}$$

$$N(G_{gf_0}) \subseteq N(G_{gf_0}), \wedge, N(G_{gf_0}) \text{ no vacío}$$

$$N(G_{gf_0}) \subseteq A(G_{gf_0})$$

$$\Psi_G \{A'(G_{gf_0})\} \subseteq \Psi_G \{A(G_{gf_0})\}$$

Sujeto a(s.a) :
 si $(n_i \in N(G_{gf_0})) \Rightarrow (\delta A n_j) \subseteq A'(G_{gf_0})$

c.2 Camino valido $n_i n_j$

Sea G_{gf_0} Grafárbol y $n_i, n_j \in N(G_{gf_0})$

$$T(G) = (N(G), A'(G), \Psi'_{gf_0})$$

$$N(G) \subseteq N(G); N(G) = \{n_i, n_k, \dots, n_a\}$$

$$A'(G) \subseteq A(G); A'(G) = \{a_i, a_m, \dots\}$$

$$\Psi'_{gf_0} [A'(G)] \subseteq \Psi_{gf_0} [A(G)].$$

D. Operaciones entre Grafárboles.

Segmentar, mezclar o integrar dos Grafárboles. También pueden corresponder a Extraer, agregar, o mezclar una estructura del tipo sub-Grafárbol, conservando sus propiedades.

d.1 Emparejado Grafárboles

Sean G_{gf_0} y D_{gf_0} Grafárboles; se define R como

$$R : \begin{matrix} G_{gf_0} \rightarrow D_{gf_0} \\ N(G_{gf_0}) \rightarrow N(D_{gf_0}) \end{matrix}$$

$$A(G_{gf_0}) \rightarrow A(D_{gf_0})$$

$$\Psi_{G_{gf_0}}(a_k) \rightarrow \Psi_{D_{gf_0}}(a_1)$$

$$E(G_{gf_0}) \rightarrow E(D_{gf_0}).$$

Se llama Alingment a R , y, donde $R = \{ \}$, es posible, si

$$R : \begin{matrix} N(G) = N(D), \wedge, \\ A(D), \wedge, \\ \Psi_D(a_k) = \Psi_D(a_k), \wedge, \\ E(G) = E(D), \Rightarrow \\ G \cong D. \end{matrix}$$

d.2 Mezcla de Grafárboles: (\rightleftharpoons)

Sean G_{gf_0} y D_{gf_0} Grafárboles donde.

$$L_{gf_0} = G_{gf_0} \rightleftharpoons D_{gf_0} = (N(L_{gf_0}), A(L_{gf_0}), \Psi_L)$$

$$N(L_{gf_0}) = N(G_{gf_0}) \cup N(D_{gf_0})$$

$$A(L_{gf_0}) = A(G_{gf_0}) \cup A(D_{gf_0}),$$

$$\Psi_L = \Psi_G \cup \Psi_D.$$

Sea ε el espacio de Grafárboles, y sea $\eta(\varepsilon)$ el número de Grafárboles del espacio.

Entonces:

$$Si G \rightleftharpoons D, \Rightarrow \eta(\varepsilon) + 1$$

d.3 Integración de los Grafárboles: (\leftarrow)

Sean (G_{gf_0}) y (D_{gf_0}) , Grafárboles.

$$G_{gf_0} \leftarrow D_{gf_0} = (N(G_{gf_0}), A'(G_{gf_0}), \Psi'_G)$$

$$N(G_{gf_0}) = (N(G_{gf_0}) \cup N(D_{gf_0}))$$

$$A'(G_{gf_0}) = (A(G_{gf_0}) \cup A(D_{gf_0}))$$

$$\Psi'_G = \Psi_G \cup \Psi_D.$$

donde ε , espacio de Grafárboles, y $\eta(\varepsilon)$, número de Grafárboles del espacio.

Si $G_{gf_0} \leftarrow D_{gf_0} \Rightarrow \eta(\varepsilon)$ se mantiene constante.

E. Inferencia.

Agrupar las operaciones que dependen del tipo de arco que participa, entre otras operaciones pueden ser propuestas las de: subsunción, clasificación, agregación, partición, y consecuencia. Estas operaciones son implementadas como el resultado de algoritmos que incorporan recorridos sobre la estructura Grafárbol, por esta razón no aparecen definidas en términos de su estructura.

Las operaciones se pueden implementar en un Tipo Abstracto de Datos (TAD) que corresponda al Grafárbol, de manera genérica, o en forma particular al Grafárbol Ontológico que se ha definido.

V. EXPRESIVIDAD Y RESTRICCIONES EN EL MODELO CONCEPTUAL BASADO EN GRAFÁRBOLES.

A. *Expresividad asociada a los tipos de arcos*

Cada tipo de arco permite representar diversas asociaciones que se pueden observar en el dominio. Las principales características de los tipos de arcos y por consiguiente de expresividad de las relaciones, son:

- Toda relación *dirigida* tiene un origen y un destino. En el caso de las relaciones jerárquicas tienen un origen denominado padre y un destino hijo.
- El tipo de arco jerárquico, no define restricciones de cardinalidad. Todos los elementos del dominio participan de la relación. Con base en las relaciones jerárquicas se pueden definir operaciones de razonamiento asociadas a la subsunción, donde la clasificación es una de ellas.
- Los tipos de arco funcionales tienen un conjunto amplio de restricciones que incluye: cuantificación, cardinalidad, propiedades de relación, dominio y rango. Las propiedades de una relación son: simétrica, anti-simétrica, reflexiva y transitiva. La definición de la relación puede ser simple o compuesta. Simple mediante una sola regla, o compuesta cuando se incorporan operadores de conjuntos como Unión (lista), Intersección, y Unión Disjunta. [10]
- Los tipos de arco de partes (ParteDe), al ser un subconjunto de las relaciones funcionales, comparten algunas de sus restricciones: cuantificación y cardinalidad.
- Los tipos de arco del tipo ParteDe, permiten representar los atributos de un concepto [11].
- Los tipos de arco ParteDe, permiten establecer dos tipos de agregación: fuerte y débil. La agregación o composición fuerte, denota que el conjunto de partes descrito es completo. Es decir, se ha establecido una lista completa de las partes que componen la unidad. En la agregación o

composición débil, también conocida como asociación, solo se conoce una lista parcial de los elementos que constituyen la unidad [12].

- El razonamiento sobre los tipos de arco ParteDe, permite establecer una operación inversa a la agregación que es la descomposición. Adicionalmente, en el razonamiento se puede involucrar la cardinalidad de la relación. De otra parte, en el razonamiento sobre las relaciones funcionales, que tienen mayor expresividad, está limitado principalmente a la verificación.

B. *Representación de axiomas en el grafárbol*

Toda operación aplicada sobre una entidad de la ontología: Conceptos, relaciones, instancias, tipos de datos y asignación de valores, se puede expresar mediante un axioma, y todo axioma deberá ser representable en una estructura del tipo Grafárbol.

Representación de una afirmación: Una afirmación que ha sido expresada en un lenguaje lógico sobre una entidad, se representa en el Grafárbol mediante una relación entre dos nodos.

Una **afirmación inferida**, es aquella que se representa mediante un camino entre dos nodos del Grafárbol ontológico. El camino es el conjunto formado por nodos y arcos que permite conectar dos nodos no adyacentes del Grafárbol ontológico.

Las anteriores reglas de representación, expresan la correspondencia que existe entre las afirmaciones expresadas en un lenguaje lógico y su representación en el Grafárbol.

C. *Restricciones de consistencia*

Las siguientes restricciones son tomadas como base para garantizar la consistencia del Grafárbol ontológico:

1. Todo arco es binario.
2. Todo arco está definido entre nodos de N , los cuales pueden ser de nivel terminológico o de instanciación.
3. Todo grafo es acíclico respecto del nodo inicial T (Thing). Es decir, ningún concepto puede ser de mayor rango que THING.

4. Todo nodo que se adicione sin especificar el nodo con el cual está relacionado, se relaciona mediante un arco del tipo EsUn al nodo Thing.

VI. LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

En el marco del proyecto de investigación, se ha desarrollado un lenguaje declarativo para la representación del cambio de ontologías, soportado en la estructura de Grafárboles expuesta. Este lenguaje, está parcialmente soportado de un “framework para la gestión conceptual del cambio ontológico”, el cual se encuentra en pruebas de operación.

Actualmente, se están desarrollando dos proyectos que extienden el framework: i. procesos de matching basados en Grafárboles, y ii, mecanismos de razonamiento con ontologías representadas en el modelo conceptual.

REFERENCIAS

- [1] Michel Klein and Dieter Fensel. “Ontology Versioning on the Semantic Web”. Proc. International Semantic Web Working Symposium. Stanford University. July 30-August 1 2001.
- [2] Klein Michel. Change Management for Distributed Ontologies. PhD. Thesis. Dutch Graduate School for Information and Knowledge Systems. 2004.
- [3] Raúl Antonio Palma de Leon. “Ontology Metadata Management in Distributed Environments”. Ph.D. thesis. Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Informática, Departamento de Inteligencia Artificial. 2009 junio.
- [4] Ljiljana Stojanovic . "Methods and tools for ontology evolution. PhD. Thesis" University of Karlsruhe.2004.
- [5] Jerome Euzenat and Pavel Shvaiko. “Ontology Matching”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007. P 333.
- [6] Thomas Gruber. “Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing”. In Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation, Guarino and Poli (Eds). 1993.
- [7] Rudi Studer and Richard Benjamins Dieter Fensel. “Knowledge Engineering: Principles and Methods.” IEEE Transactions on data and Knowledge Engineering 25(1-2): 161-197 (1998).
- [8] Alexander Maedche . “Ontology learning for the Semantic Web”. Kluwer Academic Publishers. Second printing. 2003.
- [9] Nicola Guarino. "Formal Ontology and Information Systems". Proceedings of FOIS '98", Trento, Italy. Amsterdam, IOS Press. 6-8 June 1998. pp. 3-15.
- [10] Kenneth H. Rosen, *Handbook of Discrete and qCombinatorial Mathematics* CRC Press.
- [11] Kenneth H. Rosen, *Discrete Mathematics and Its Applications* 6th ed. McGraw Hill.
- [12] Piatini Mario et al. “Extending UML for design secure DWH” 2004.
- [13] UML. Documento de infraestructura. Febrero de 2009.