

EL ROL DE LAS ONTOLOGÍAS EN LOS SI

Graciela Barchini, Margarita Álvarez, Susana Herrera y Melina Trejo

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Avenida Belgrano (S) 1912, 54-385-4509560, Santiago del Estero, Argentina

{grael, alvarez, sherrera}@unse.edu.ar

Resumen. *Los sistemas de información (SI) son esencialmente artefactos de conocimiento que capturan y representan el conocimiento sobre ciertos dominios.*

El concepto de SI basados en ontologías (SIBO) abre nuevas maneras de pensar sobre las ontologías y los SI, y cubre las dimensiones estructurales y temporales de los SI e involucra tanto a los desarrolladores como a los usuarios de los SI.

En este artículo se aborda el rol de las ontologías en los SI desde dos perspectivas: a) como soporte para el análisis conceptual de técnicas de modelación de los SI y b) como un soporte para el diseño, desarrollo y uso de los SI, tanto desde el punto de vista del desarrollador como del usuario y se analiza el uso de las ontologías en variados escenarios.

Palabras Claves. *Ontologías, Sistemas de información basados en ontología, Rol de las ontologías, Análisis conceptual ontológico, Modelo de datos.*

Abstract. *Information Systems (IS) are knowledge artifacts; they capture and represent knowledge that belongs to certain domains.*

The Ontology-driven Information System (ODIS) provides new ways of thinking about ontologies and their relationship with IS. ODIS covers structural and functional dimensions of IS and it involves both IS developers and users.

This paper considers the roles that ontologies play in an IS from two perspectives: a) as a support for the conceptual analysis of IS modeling methods and b) as a support for the design, development and use of those IS. The use of ontologies from different scenarios are analyzed.

Keywords. *Ontologies, Ontology-driven Information System, Role of ontologies, Ontological conceptual analysis, Data Models.*

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de información (SI) son esencialmente artefactos de conocimiento que capturan y representan el conocimiento sobre ciertos dominios. Los profesionales e investigadores de los SI han tratado tradicionalmente con los problemas de identificar, capturar, y representar el conocimiento del dominio dentro de los SI.

La ontología como "el estudio metafísico de la naturaleza de ser y la existencia" es tan antigua como la disciplina de la filosofía. Recientemente, la ontología se ha definido como "la ciencia de lo que es, de los tipos y estructuras de objetos, propiedades, eventos, procesos, y relaciones en cada área de la realidad" [Smith, 2005]. Mientras sigue siendo un área fecunda de investigación en el campo de la filosofía, la ontología es actualmente materia de investigación, desarrollo, y aplicación en disciplinas relacionadas con la computación, la información y el conocimiento.

Las ontologías generalmente se usan para especificar y comunicar el conocimiento del dominio de una manera genérica y son muy útiles para estructurar y definir el significado de los términos.

De acuerdo con Sheth [Sheth, 2005], la nueva generación de los SI deberá ser capaz de resolver la interoperabilidad semántica, en la cual un hecho puede ser más que una descripción, para poder hacer un buen uso de las informaciones disponibles como la llegada de Internet y la computación distribuida.

La forma de resolver dicho problema consiste en crear un entendimiento compartido, como son las ontologías, que unifican los diferentes puntos de vista y sirven para:

- Entender cómo diferentes sistemas comparten informaciones.
- Descubrir ciertas distorsiones presentes en los procesos cognitivos de aprendizaje en un mismo contexto.
- Formar patrones para el desarrollo de SI.

Es así como, el uso de ontologías en el desarrollo de los SI permite establecer correspondencia y relaciones entre los diferentes dominios de entidades de información.

Frank [Frank, 1997] acredita que el uso de ontologías en el desarrollo de los SI contribuye a mejorar la calidad del producto final.

Es así como, las ontologías pueden proveer los mecanismos para organizar y almacenar ítems que incluyen esquemas de las bases de datos (BD), objetos de interfaz de usuario, y programas de la aplicación. Es decir, las ontologías están llegando a ser una herramienta fructífera en la investigación y desarrollo de la disciplina de los SI [Pisanelli, et al., 2005; Guarino, 2005; Viinikkala, 2005].

Esto ha llevado a la noción de SI basados en ontología (SIBO), un concepto que, aunque en una fase preliminar de desarrollo, abre nuevas maneras de pensar sobre las ontologías y los SI en conjunción una con otra, y cubre las dimensiones estructurales, las dimensiones temporales de los SI e involucra tanto a los desarrolladores como a los usuarios de los SI.

Las ontologías y los SIBO están desarrollándose y aplicándose en una variedad de áreas de aplicación emergentes tales como modelización de empresas, diagnósticos, toma de decisión, planeamiento y adaptación, modelado de procesos y sistemas [Obitko, 2005].

Este artículo se realiza en el marco del proyecto de investigación denominado "'Herramientas Conceptuales, Metodológicas y Técnicas de la Informática Teórica y Aplicada"¹. En este artículo se aborda el rol de las ontologías en los SI desde dos perspectivas: a) como soporte para el análisis conceptual de técnicas de modelación de los SI y b)

¹ Código 23/C062, proyecto avalado y subvencionado por el Consejo de Investigaciones de Ciencia y Técnica (CICyT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

como soporte para el diseño, desarrollo y uso de los SI, tanto desde el punto de vista del desarrollador como del usuario. De esta manera se ofrece un amplio panorama del uso de las ontologías en variados escenarios.

2. SOBRE LAS ONTOLOGÍAS

La ontología en el sentido filosófico es la explicación sistemática de la existencia como es percibida por los humanos.

Desde el punto de vista tecnológico, según el ámbito, existen diferentes acepciones de ontología. En la Inteligencia Artificial se la define como: “una especificación explícita de una conceptualización” [Gruber, 2005] y en la disciplina de los SI se la considera como: “un artefacto del software (o lenguaje formal) diseñado para un conjunto específico de usos y ambientes computacionales” [Guarino, 2005].

Independientemente del ámbito en que se desarrollen, es necesario aclarar que la base para una ontología es la conceptualización junto con un vocabulario para referirse a las entidades de un dominio particular. Es decir, las ontologías para representar el conocimiento precisan los siguientes componentes [Gruber, 2005]:

- **Conceptos:** son las ideas básicas que se intentan formalizar. Los conceptos pueden ser clases de objetos, métodos, planes, estrategias, procesos de razonamiento, etc.
- **Relaciones:** representan la interacción y enlace entre los conceptos, formando la taxonomía del dominio. Las relaciones básicas son: sub-clase-de, parte-de, conectada-a.
- **Funciones:** son un tipo concreto de relación donde se identifica un elemento mediante el cálculo de una función que considera varios elementos de la ontología.
- **Instancias:** se utilizan para representar objetos determinados de un concepto.
- **Axiomas:** son teoremas que se declaran sobre relaciones que deben cumplir los elementos de la ontología. Especifican las definiciones de los términos en la ontología y las restricciones de sus interpretaciones. Los axiomas deben proveerse para definir la semántica o el significado de los términos.

Un indicador de la complejidad de una ontología es el conjunto de relaciones conceptuales. Fox y Gruninger [Fox y Gruninger, 1998] sostienen que una ontología se define como un vocabulario más una especificación del significado de dicho vocabulario. Esta visión permite distinguir ontologías basadas en el grado de formalidad en la especificación del significado. Las ontologías informales usan un lenguaje natural, las ontologías semiformales proporcionan axiomatizaciones débiles tales como taxonomías y las ontologías formales definen la semántica del vocabulario por una axiomatización completa y efectiva.

3. EL ROL DE LAS ONTOLOGÍAS EN LOS SI

Se puede afirmar que un SI tiene su propia ontología implícita, ya que se atribuye significado a los símbolos usados según una visión particular del mundo. Sin embargo, de manera explícita, una ontología puede tener distintos roles en un SI.

Basados en Guarino [Guarino, 2005], Jasper y Uschold [Jasper y Uschold, 2005], Milton [Milton y Kazmierczak, 1999] y Wand y Weber [Wand y Weber, 1990] y, teniendo en cuenta los beneficios que ofrecen las ontologías en los SI, se aborda el rol de las ontologías en los SI desde dos perspectivas:

- Como un soporte para el análisis conceptual de métodos y técnicas de los SI.
- Como un soporte para el diseño, desarrollo y uso de los SI. En esta perspectiva se analizan dos dimensiones: la **visión de los desarrolladores**, concerniente a la manera en que una ontología ayuda o se usa para desarrollar un SI y la **visión del usuario**, relativa a la manera en que una ontología facilita la tarea del mismo al interactuar con el SI.

En la figura 1 se muestra una clasificación del rol de las ontologías en los SI.

Cada una de estas perspectivas da lugar a escenarios específicos según el rol de la ontología. En los próximos apartados de esta sección se describen cada uno de estos escenarios.

3.1. Las Ontologías como Soporte al Análisis Conceptual

Un SI es, en esencia, una representación de fenómenos del mundo real [Weber, 1999]. Por lo tanto, si se conoce cómo está constituida la realidad, se podrán elaborar mejores modelos de la misma y, por ende, mejores SI. Es por ello que los investigadores se esfuerzan en la construcción de teorías dirigidas a determinar cómo se estructuran los SI en base a diversas posturas ontológicas referidas a cómo está constituido el mundo real.

Así, surgen los diferentes modelos ontológicos de los SI que consisten en construcciones abstractas que indican los principales componentes estructurales y dinámicos de un SI, conforme a una ontología filosófica determinada.

El filósofo Chisholm [Chisholm, 1996] propuso una ontología de sentido común crítico. El sentido común crítico demanda un estándar riguroso de soporte para el conocimiento a adquirir. En base a esta postura epistemológica, Milton y Kazmierczak [Milton y Kazmierczak 1999; Milton et al., 2001] sostienen que la **ontología de Chisholm** puede ser utilizada (sin necesidad de adaptaciones) para el análisis ontológico de los lenguajes de modelación de datos. Para ello, estos autores propusieron un modelo que permite evaluar los lenguajes desde el punto de vista ontológico. Por lo tanto, se puede considerar que la ontología de Chisholm constituye en sí misma un modelo ontológico de SI.

Por otra parte, Bunge [Bunge, 1977; Bunge, 1979] es el autor de ontología filosófica que más influencia tuvo en los SI. Esta ontología se basa en un realismo científico, el cual requiere una comprensión teórica profunda y detallada de la realidad, propia de la ciencia contemporánea. La ontología de Bunge sostiene que el mundo está hecho de sistemas interconectados. En base a esta postura epistemológica, Wand y Weber [Wand y Weber, 1990] construyeron el **modelo ontológico BWW** (Bunge-Wand-Weber). Este es un modelo de descomposición de los SI. Es formal, libre de contenido, compuesto por: el modelo de representación, el modelo de transición de estados y el modelo de buena descomposición.

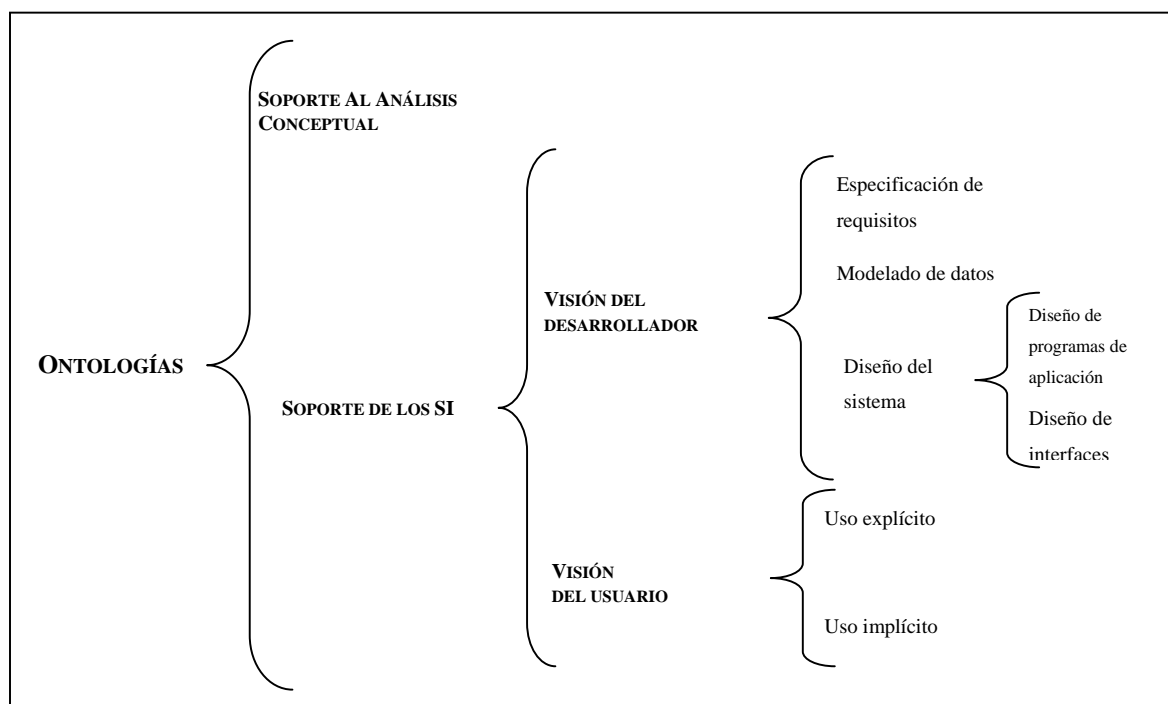


Figura 1. Rol de las ontologías en los SI
<http://www.ini.udec.cl/revista>

Por otra parte, Bunge [Bunge, 1977; Bunge, 1979] es el autor de ontología filosófica que más influencia tuvo en los SI. Esta ontología se basa en un realismo científico, el cual requiere una comprensión teórica profunda y detallada de la realidad, propia de la ciencia contemporánea. La ontología de Bunge sostiene que el mundo está hecho de sistemas interconectados. En base a esta postura epistemológica, Wand y Weber [Wand y Weber, 1990] construyeron el **modelo ontológico BWB** (Bunge-Wand-Weber). Este es un modelo de descomposición de los SI. Es formal, libre de contenido, compuesto por: el modelo de representación, el modelo de transición de estados y el modelo de buena descomposición.

Estos modelos abstractos de los SI constituyen un importante soporte teórico para el proceso de modelación y, por lo tanto, se utilizan para la evaluación de los lenguajes o técnicas de análisis y diseño de SI. En general, esta evaluación radica en que los lenguajes que cumplen con los aspectos considerados en los modelos ontológicos son más eficientes que aquellos que no los contemplan [Davies, et al.; 2003, Milton y Kazmierczak; 1999, Milton et al., 2001; Milton et al., 2000; Opdahl, 1998; Opdahl y Henderson-Sellers, 1998; Rosemann y Green, 2001].

En síntesis, se conjetura que la Ontología de Chisholm es útil para la modelación de fenómenos que están relacionados a dominios de aplicación donde dominan los temas sociales o humanos, debido a que se trata de una ontología de sentido común. Por el contrario, la ontología de Bunge se adaptaría mejor a ambientes de implementación o dominios de aplicación donde los aspectos humanos o sociales están ausentes [Milton y Kazmierczak, 1999].

En la figura 2 se observa como, a partir de las ontologías filosóficas y los modelos ontológicos de los SI disponibles, se pueden crear y/o modificar lenguajes o técnicas de modelación de los SI.

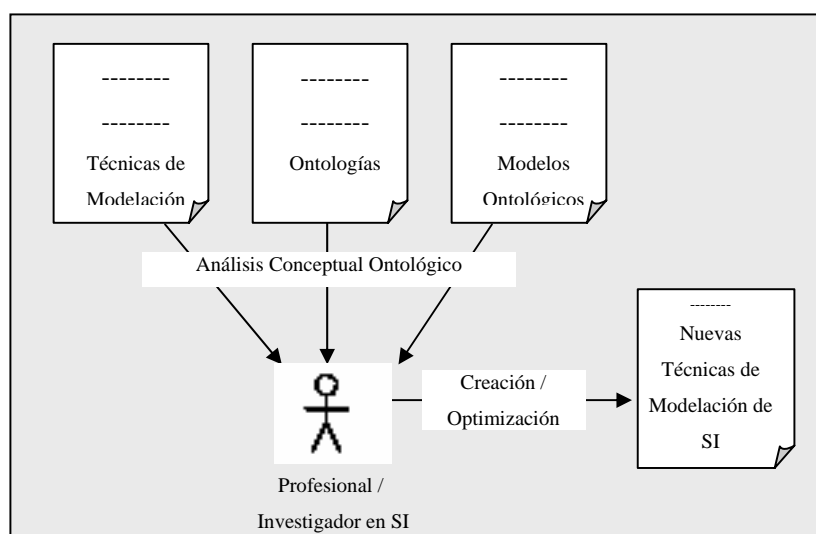


Figura 2. Análisis Conceptual Ontológico de las Técnicas de Modelación de SI

Casos típicos de la utilización de ontologías como análisis conceptual son los siguientes:

- En 1998, Opdahl y Henderson Sellers [Opdahl y Henderson-Sellers, 1998] realizaron una evaluación ontológica de lenguajes de análisis y diseño orientado a objetos utilizando el modelo ontológico BWB. Tales autores tomaron los lenguajes UML (Unified Modelling Language) y OML (Open Modelling Language) y los analizaron ontológicamente en base a las estructuras que el modelo de BWB define para los SI. Como producto de este estudio se obtuvo la definición, integración y formalización apropiada de construcciones y diagramas de modelación de los lenguajes UML y OML.
- Milton, Kazmierczak y Keen [Milton et al., 2001] desarrollaron en 2001 un método de análisis conceptual de los lenguajes de modelación de datos basado en la ontología filosófica de Chisholm. Los autores tomaron cinco lenguajes de modelación estándar y los analizaron contrastándolos con las estructuras del mundo real

propuestas por Chisholm. Los lenguajes evaluados fueron: Entidad-Relación (ER), Modelos de Datos Funcionales (FDM), el Modelo de Datos Semántico (SDM), NIAM y la Técnica de Modelación de Objetos (OMT). Los hallazgos de la investigación sirven para optimizar las técnicas de modelación en base a nuevas teorías construidas dentro del campo de los SI. Los autores concluyen en que la ontología de Chisholm tiene la potencia necesaria para ser una teoría unificadora de los modelos de datos.

3.2. Las Ontologías como Soporte de los SI

3.2.1. Desde la visión del desarrollador

El desarrollador de software se enfrenta con problemas relacionados con la identificación, captura y representación del conocimiento de un dominio específico y las principales tareas que aborda son:

- El **análisis de requisitos** del sistema, en donde se analizan y documentan las necesidades de información que deberán ser soportadas por el sistema a desarrollar.
- La **especificación funcional** del sistema (arquitectura lógica) de forma independiente del entorno técnico.
- El **diseño** del sistema que se aplica a cuatro características distintas del software: la estructura de los datos, la arquitectura de las aplicaciones, la estructura interna de los programas y las interfaces.

En algunas de estas tareas las ontologías pueden tener un rol importante como se mostrará en los próximos apartados de esta sección.

a) Especificación de requisitos

Es factible usar una ontología que modele el dominio de aplicación y proporcione un vocabulario para la especificación de requisitos (ER) [Jasper y Uschold, 2005] del sistema a diseñar.

El rol que la ontología juega en la especificación varía con el grado de formalidad y automatización de la metodología de diseño.

En una aproximación informal, las ontologías facilitan el proceso de identificación de los requisitos de un sistema y el entendimiento de las relaciones entre los componentes del sistema. Esto es importante cuando se desarrollan SI en el que intervienen equipos de personas que trabajan en dominios diferentes. En una aproximación formal, una ontología provee una especificación declarativa de un SI que permite razonar para qué el sistema está diseñado. [Uschold y Gruninger, 1999].

Por otra parte, es necesario destacar que las técnicas de educación, utilizadas en Ingeniería del Conocimiento, cada vez se utilizan con mayor frecuencia en la educación de requisitos en un contexto organizacional determinado. En este sentido, el usuario es considerado como un experto en su ámbito de trabajo.

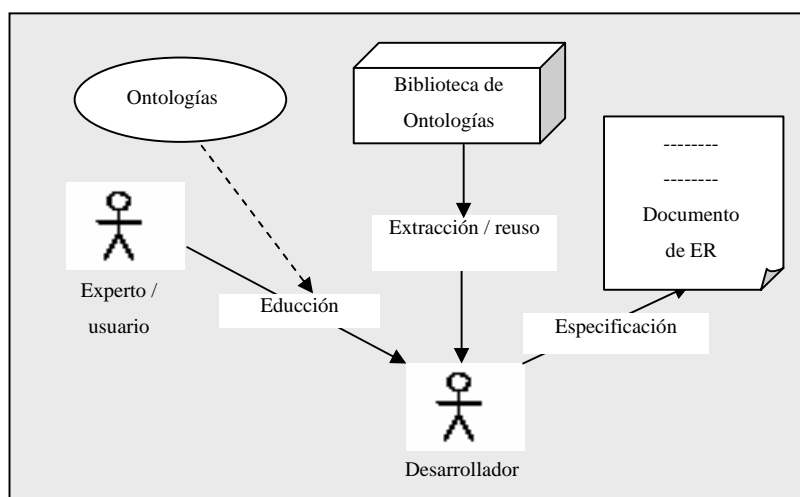


Figura 3. Especificación de Requisitos con Ontologías

En la figura 3 se esquematiza el rol de las ontologías para la ER. Como se observa, se adquiere conocimiento tanto de los expertos / usuarios (educación) como de las ontologías existentes en una biblioteca determinada (extracción / reuso). Las ontologías también pueden usarse para automatizar la educación de conocimientos.

Los principales beneficios de utilizar ontologías en la ER son la fiabilidad de la especificación obtenida [Ushold y Gruninger, 1999], la disminución de ambigüedad en los requisitos, la mejor documentación y la reducción del tiempo insumido en la adquisición de información / conocimiento.

b) Modelado de datos

Un modelo de datos describe la estructura lógica de los datos y su aplicación. Es decir, es la descripción esquemática de las instancias del modelo, estas instancias representan los datos que son usados por la aplicación. Se han hecho muchas extensiones del modelo entidad - relación para tratar de capturar el significado de los datos (la parte semántica); por ejemplo, el modelo de datos orientados a objetos [Frank, 1997]. Sin embargo, estos modelos aún presentan limitaciones tales como considerar un solo punto de vista del mundo y una sola posible interpretación de las instancias de interés.

En el uso de ontologías para el modelado de datos, es necesario diferenciar dos situaciones según el momento en que se encuentra el SI: en tiempo de desarrollo o en tiempo de mantenimiento.

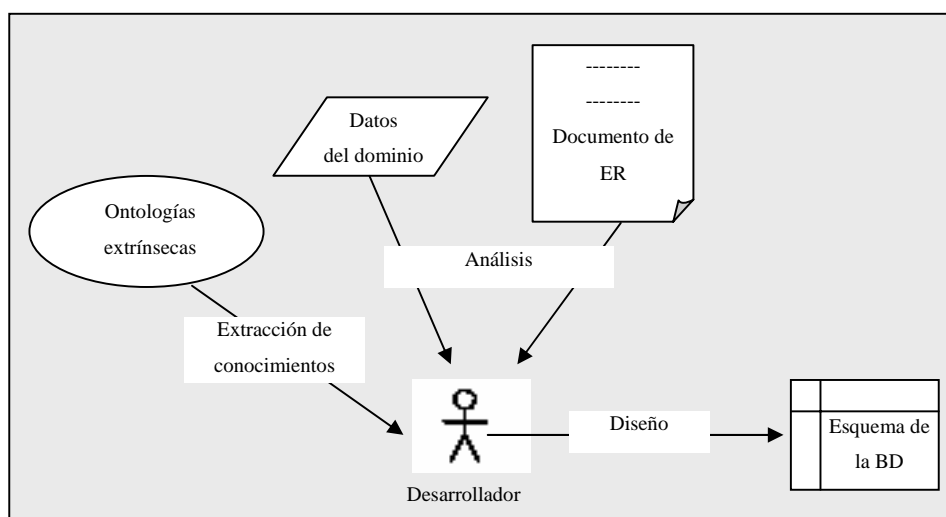


Figura 4. Modelado de datos con Ontologías en tiempo de desarrollo

- **En tiempo de desarrollo**

En la figura 4, se observa que el esquema de la BD se obtiene a partir del análisis de los datos del dominio, del documento de ER y del conocimiento extraído de ontologías existentes en la Web (ontologías extrínsecas).

El modelado de datos con ontologías tiene los siguientes beneficios: a) disminución del tiempo de diseño del esquema al reusar el conocimiento existente de ontologías disponibles y b) disminución de heterogeneidad semántica, ya que las BD, de las aplicaciones existentes o futuras, de un mismo dominio comparten la misma ontología, resultan ser homogéneas o con escasa posibilidad de heterogeneidad semántica.

- **En tiempo de mantenimiento**

Este es el caso de las BD que están en funcionamiento, existen otros SI o BD en el mismo contexto que necesitan interoperar. Generalmente, en esta situación, surgen problemas de operabilidad debido a la heterogeneidad de esquemas e incompatibilidades semánticas. La heterogeneidad semántica aparece cuando

los SI no tienen la misma interpretación de la información que pretenden intercambiar, o sea, el significado de un ítem es diferente para los distintos SI o BD.

En la figura 5 se muestran los principales procesos que intervienen en la integración de BD con ontologías. El proceso de integración se desagrega (figura 6) de acuerdo a los distintos enfoques existentes [Heiner, et al., 2005].

En la figura 6 (a) se observa un enfoque de integración con una **única** ontología. En este caso, se integran BD existentes y heterogéneas usando una ontología (creada por el desarrollador para ese fin) que proporciona un vocabulario compartido.

En la figura 6 (b) se muestra el enfoque de integración con ontologías **múltiples**. Cada fuente de información o BD se describe con su propia ontología. Esta arquitectura ontológica puede simplificar la tarea de integración y soporta el cambio; por ejemplo, la inserción y eliminación de fuentes de información o BD.

En la figura 6 (c) se observa el enfoque de integración **híbrido**. Al igual que los enfoques de ontologías múltiples, las semánticas se describen con su propia ontología. Con el fin de permitir que las ontologías locales sean comparables entre sí se desarrolla un vocabulario compartido global.

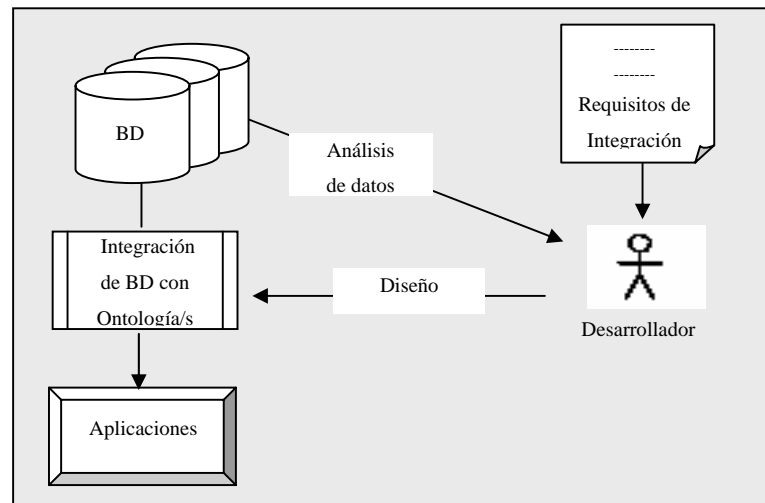
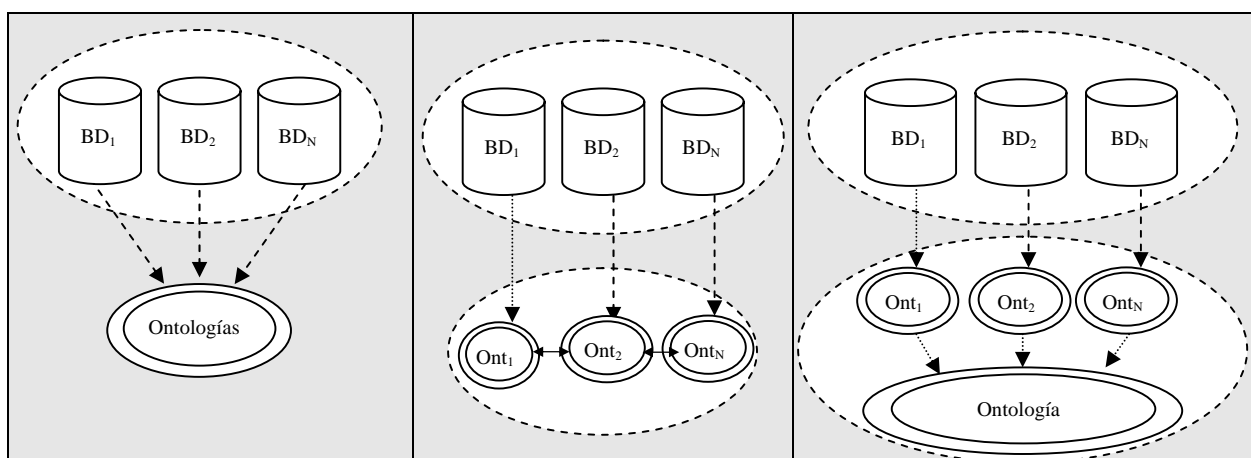


Figura 5. Modelado de datos con ontologías en tiempo de mantenimiento

Estos enfoques de integración usando ontologías permite la interoperatividad entre múltiples aplicaciones, esto es posible porque se accede a la misma información almacenada en BD distintas [Jasper y Uschold, 2005].



a) Enfoque con ontología única

b) Enfoque con ontologías múltiples

c) Enfoque híbrido

Figura 6. Distintos enfoques de integración

c) Diseño del

sistema

- **Diseño de programas de aplicación:** los programas de aplicación son una parte importante de muchos SI. Normalmente contienen mucho conocimiento del dominio que, por varias razones, no se guarda explícitamente en una BD. Algunas partes de este conocimiento se codifican en la parte estática del programa en la forma de tipo o declaraciones de clases, otras partes están implícitamente en la parte procedimental del programa. Ambas partes son susceptibles de transformarse con la ayuda de una ontología [Guarino, 2005].

En la figura 7, se observa como, a partir de una ontología, la parte declarativa y procedimental se convierten en una base de conocimiento y en un motor de inferencias, respectivamente. Se obtiene de esta manera un sistema basado en conocimiento (SBC).

En el caso del desarrollo de un nuevo SI, los programas se diseñan y desarrollan usando ontologías, obteniendo, de esta manera, un SIBO. En cambio, si los programas ya existen, pueden ser convertidos usando ontologías.

Los beneficios de diseñar o convertir programas de aplicación mediante ontologías radican en que se aumenta la calidad interna del software y se facilita el mantenimiento, la extensibilidad, la flexibilidad y la transparencia.

- **Diseño de Interfaz de Usuario:** en el diseño de interfaces se pueden utilizar ontologías y de esta manera incluir conocimiento semántico [Guarino, 2005].

Los beneficios de usar ontologías en la interfaz de usuario radican en que el diseño obtenido tiene calidad

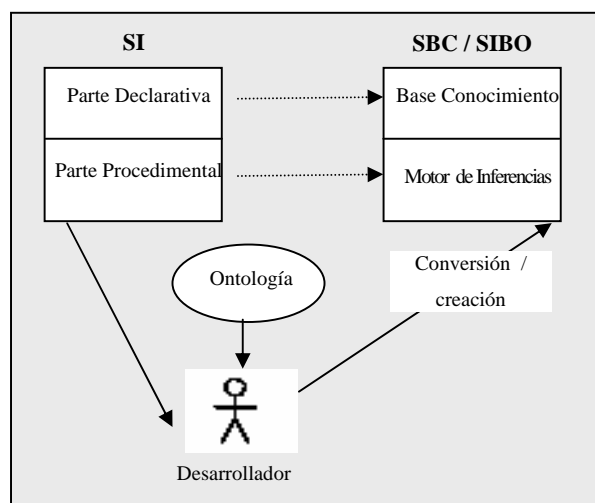


Figura 7. Programas de aplicación

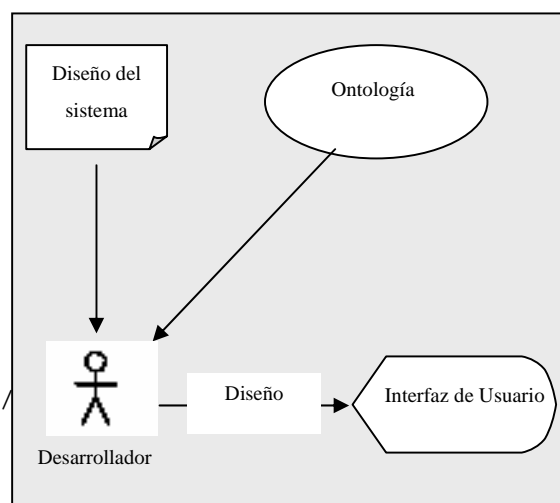


Figura 8. Diseño de Interfaz de usuario

externa y se facilita la tarea del desarrollador porque la interfaz incluye una verificación de las restricciones contenidas implícitamente en las clases, relaciones y axiomas de la ontología.

3.2.2. Desde la Visión del Usuario

- a) **Uso explícito:** en esta situación el usuario es consciente, o sea conoce la existencia de la ontología y puede usar la misma como vocabulario. El usuario es libre de adoptar sus propios términos en el lenguaje natural los cuales son mapeados al vocabulario del SI [Guarino, 2005] (figura 9).
- b) **Uso implícito:** en esta situación el usuario no es consciente del uso de la ontología. El usuario usa la ontología como parte normal de su interacción con el SI [Guarino, 2005] para hacer preguntas o para navegar (figura 10). Las preguntas del usuario son manejadas por una ontología e indirectamente apoyan el proceso de las consultas para acceder a la información del sistema. Estas preguntas son más intuitivas para el usuario no experimentado.

Los beneficios de utilizar ontologías, desde el punto de vista del usuario, radican en que se facilita la navegación en el SI y la posibilidad de usar diferentes términos (sinónimos, hiperónimos, e hipónimos) del dominio de aplicación. De esta manera, se consigue mayor amigabilidad y se alivian los problemas relacionados con la semántica de la información.

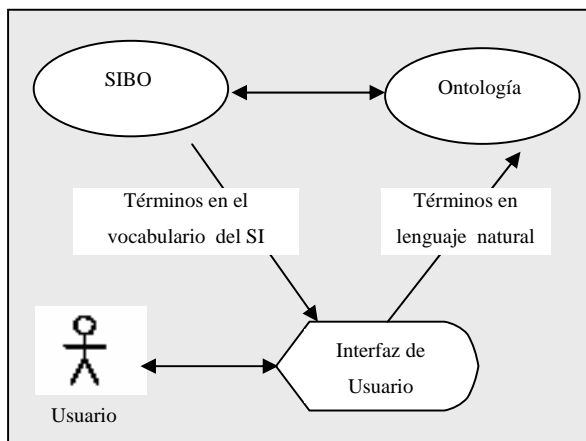


Figura 9. Interfaz de usuario Explícita

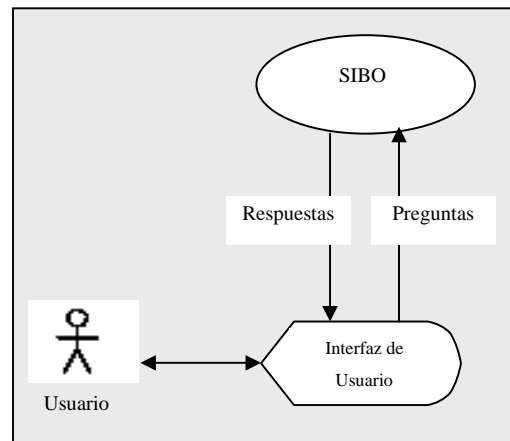


Figura 10. Interfaz de usuario Implícita

Casos típicos de utilización de ontologías como soporte a los SI se pueden encontrar en numerosas publicaciones [Guarino, 2005; Jasper y Uschold, 2005; Obitko, 2005; Pisanelli, et al., 2005; Uschold y Gruninger, 1999; Viinikkala, 2005].

4. CONCLUSIONES

El uso de ontologías se ha incrementado en varias áreas de la Informática y, hay también en la actualidad, un interés creciente sobre su uso en el diseño y desarrollo de los SI.

En este artículo nosotras mostramos algunos de los usos actuales de las ontologías en los SI como soporte para el:

- Análisis conceptual de técnicas de modelación de los SI basados en modelos ontológicos como el BWW, la ontología filosófica de Chisholm que permiten, entre otros, formular o reformular técnicas y lenguajes de modelación.

- Diseño, desarrollo y uso de los SI, tanto desde el punto de vista del desarrollador como del usuario, se presentaron variados escenarios en donde se visualizaron las dimensiones estructurales, las dimensiones temporales y los principales actores (desarrolladores y usuarios) de los SI.

Los escenarios presentados pueden combinarse de acuerdo a los objetivos del desarrollador y las características del SI a diseñar.

Además, se ha mostrado que la disponibilidad del conocimiento almacenado en ontologías puede proveer los mecanismos necesarios para organizar, almacenar y acceder a la información de ítems que incluyen esquemas de BD, objetos de interfaz de usuario, y programas de aplicación. El uso de ontologías en el desarrollo de los SI permite establecer correspondencia y relaciones entre los diferentes dominios de entidades de información.

En síntesis, se confirma que las ontologías están llegando a ser una herramienta fructífera en la investigación y desarrollo de la disciplina de los SI.

REFERENCIAS

Bunge, M. "Treatise on Basic Philosophy: Ontology I", Reidel, 1977.

Bunge, M. "Treatise on Basic Philosophy: Ontology II", Reidel, 1979.

Chisholm, R. A. "Realistic Theory of Categories – An Essay on Ontology". Cambridge University Press, 1996.

Davies, I.; Green, P.; Milton, S. and Rosemann, M. "Using Meta Models for the Comparison of Ontologies". Eighth CAiSE/IFIP8.1, Austria, 2003.

Fox, M. and Gruninger, M. "Enterprise modeling". *AI Magazine*, 19(3):109-121. 1998.

Frank, A.U. "Spatial Ontology: A Geographical Point of View", O. Stock (ed.), Spatial and Temporal Reasoning, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 135–153, 1997.

Gruber, T. R. "Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing". Stanford Knowledge Systems Laboratory. Disponible en <<http://citeseer.ist.psu.edu/gruber93toward.html>>. Fecha de acceso: 20 de Mayo de 2005.

Guarino, N. "Formal Ontology and Information Systems". Proceedings of FOIS '98. National Research Council, LADSEB–CNR. 1998. Disponible en <<http://citeseer.ist.psu.edu/guarino98formal.html>> Fecha de acceso: 29 de Abril de 2005.

Heiner S.; Ubbo, V. and Holger, W. "Tutorial-Ontology Based Integration". Disponible en <http://www.cs.vu.nl/~heiner/presentations.html>>. Fecha de acceso: 5 de Julio de 2005.

Jasper R and Uschold M. "A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications". Boeing Math and Computing Technology, Seattle, USA. Disponible en: <<http://sern.ucalgary.ca/KSI/KAW/KAW99/papers/Uschold2/final-ont-apn-fmk.pdf>>. Fecha de acceso: 25 de Mayo de 2005.

Milton, S. and Kazmierczak, E. "Enriching the Ontological Foundations of Modelling in Information Systems". Proc of the IS Foundations Workshop, Macquarie University, 1999.

Milton, S.; Kazmierczak, E. and Keen, C. "An Ontological Study of Data Modelling Languages using Chisholm's Ontology". Proc. 11th European-Japanese Conference Information Modelling and Knowledge bases, 21-32. Maribor, 2001.

Milton, S.; Kazmierczak, E. and Thomas, L. "Ontological Foundations of Data Modeling in Information Systems". Proc. of Sixth Americas Conference on Information Systems, 2000.

Obitko, M. "Ontologies. Description and Applications". Disponible en: <<http://cyber.felk.cvut.cz/gerstner/reports/GL126.pdf>>. Fecha de acceso: 15 de Mayo de 2005.

Opdahl, A. "A Comparison of Four Families of Multi-Perspective Problem Analysis Methods". Department of Information Science. University of Bergen, 1998.

Opdahl, A. and Henderson-Sellers, B. "Evaluating and Improving OO Modelling Languages Using de BWW-Model". Proc. of the IS Foundations Workshop, Sydney, 1998.

Pisanelli, D.; Gangemi, A. and Steve, G. "Ontologies and Information Systems: the Marriage of the Century?". Disponible en < www.loa-cnr.it/Papers/lyee.pdf >. Fecha de acceso: 5 de Junio de 2005.

Rosemann, M. and Green, P. "Developing a meta model for the Bunge-Wand-Weber ontological constructs". Information Systems, 27, 75-91, 2001.

Sheth, A.P. "Changing focus on interoperability in information systems: from system, syntax, structure to semantics". Disponible en: < <http://lsdis.cs.uga.edu/library/download/S98-changing.pdf>>. Fecha de acceso: 15 de Julio de 2005.

Smith, B. "Ontology and Information Systems". Disponible en: < <http://ontology.buffalo.edu/ontology%28PIC%29.pdf>>. Fecha de acceso: 12 de Abril de 2005.

Uschold M. and Gruninger M. "Ontologies: principles, methods and applications". Knowledge Engineering Review, 11(2), pp. 93-155. 1999.

Viinikkala, M. "Ontology in Information Systems". Disponible en: < <http://www.cs.tut.fi/~kk/webstuff/Ontology.pdf>>. Fecha de acceso: 10 de Junio de 2005.

Wand, Y. and Weber, R. "An Ontological Model of an Information System". IEEE Transactions on Software Engineering. November, pp. 1282-92, 1990.

Weber, R. "The Information Systems Discipline: The need for and nature of a Foundational Core". Proceedings of the Information Systems Foundations Workshop. Department of Computing, Macquarie University, 1999.