



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN BASADOS EN ONTOLOGÍAS

Barchini, Graciela E.; Alvarez, Margarita M.; Palliotto, Diana; Fortea, Gladys

Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina, {grael, alvarez, dpalliot}@unse.edu.ar

RESUMEN

La creación de ontologías explícitas en el desarrollo y el uso de los Sistemas de Información (SI) conduce al concepto de los Sistemas de Información Basados en Ontologías (SIBO). Durante el proceso de validación y evaluación no se disponen de herramientas formalizadas que permitan determinar si el SIBO construido cumple con los requerimientos especificados y si es posible usar/reusar el conocimiento sobre un dominio determinado.

En base a la investigación exploratoria y descriptiva realizada y, considerando diversas propuestas de evaluación de la calidad de una ontología y de un SI, en este artículo presentamos una síntesis del resultado de operacionalizar la variable "calidad de un SIBO".

Para ello, se proponen cuatro dimensiones y, en algunos casos, los indicadores que permitirían evaluar empíricamente la calidad de un SIBO. Las principales contribuciones de este trabajo son: a) la definición de un SIBO, en sus componentes estructurales y aspectos temporales; b) la definición de la calidad de un SIBO y la propuesta de un marco de referencia para evaluar la calidad del mismo en sus dimensiones descriptiva, estructural, funcional y operativa.

Disponer de tal marco de referencia permitiría al evaluador determinar los aspectos y criterios de medición individuales, implementarlos y realizar la integración apropiada para producir un valor de calidad global.

ABSTRACT

The Ontology-Based Information Systems (OBIS) concept is driven by the creation of explicit ontologies in Information Systems (IS) development and use. During the validation and evaluation process, there are no formal tools that allow to determine if the built SIBO fulfills the specified requirements and if it is possible to use / to reuse the knowledge on a certain domain.

Based on the exploratory and descriptive research carried out and, considering several evaluation proposals of an ontology quality and of an IS quality, this paper presents a synthesis of the "OBIS quality" variable operationalization.



Starting from the achieved exploratory and descriptive research and, of the analysis of diverse works of evaluation of ontology and IS quality, in this paper we present a synthesis of the operacionalization of the variable "OBIS quality".

For that, we propose four dimensions and, in some cases, the indicators that should be used to evaluate the OBIS quality empirically. The main goals of this work are: a) the OBIS definition, in its structural components and temporary aspects; b) the OBIS quality definition and the quality framework proposal to evaluate with its descriptive, structural, functional and operative dimensions.

The available framework should allow the evaluator to determine the individual metrics and criteria, to implement them and to carry out the appropriate integration in order to produce a value of global quality.

PALABRAS CLAVES

Ontologías, Sistema de información basado en ontología, Calidad, Dimensiones, Indicadores.



1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con algunos autores (Colomb, 2002), (Colomb y Weber, 1998), (Guarino, 1998), (Soares y Fonseca, 2007), (Yildiz y Miksch, 2007), el uso de ontologías en el desarrollo de los Sistemas de Información (SI) contribuye a mejorar la calidad del producto final.

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. Es así como el uso de las ontologías se ha incrementado en varias áreas de la Informática.

El concepto de Sistema de Información Basado en Ontologías (SIBO) fue introducido por Guarino (1998), y, aunque todavía están en una fase preliminar de desarrollo, se visualizan algunas aplicaciones concretas.

Por otra parte, "La calidad del software es el grado con el que un sistema, componente o proceso cumple los requerimientos especificados y las necesidades o expectativas del cliente o usuario" (IEEE, 1990). Además, el mantenimiento sigue siendo la etapa más costosa en el ciclo de vida de un producto software. Por ello, es importante seguir investigando en nuevos métodos, técnicas y herramientas para abordar su complejidad de forma más eficiente.

El tema de evaluación de la calidad de una ontología y, por ende, de los SIBO no ha sido lo suficientemente abordado. Se detectan las siguientes falencias:

- No existe una definición precisa, explícita y consensuada de la "calidad de un SIBO".
- No existe uniformidad de criterios con respecto a cuáles son los atributos de la calidad de un SIBO y cómo debe procederse para determinar su valor.
- En muchos casos, no se explicita quiénes son los encargados de evaluar la calidad: desarrolladores, expertos del dominio y/o usuarios finales.

En base a la investigación exploratoria y descriptiva realizada, y considerando diversas propuestas de evaluación de la calidad de una ontología (Tartir et al., 2005), (Gangemi et al., 2006), (Mostowfi y Fotouhi, 2006), de un SI (Hoxmeier, 1997), (Whitmire, 1997), (Lanza y Marinescu, 2006), y de un SIBO (Fonseca y Martín, 2007), (Colomb, 2002), (Colomb y Weber, 1998), en este artículo presentamos una síntesis del resultado de operacionalizar la variable "calidad de un SIBO".

El proceso de operacionalización consiste en definir las variables teóricas en términos de variables empíricas llamadas "indicadores", cuya elección depende del marco teórico, del tipo de SIBO y de sus posibilidades concretas de medición.



Es decir, cada una de las variables (dimensiones) consideradas se desglosa, a través de un proceso de deducción lógica, en indicadores que representan ámbitos específicos de las variables y se encuentran en un nivel de abstracción intermedio.

Para ello, se proponen cuatro dimensiones y, en algunos casos, los indicadores que permitirían evaluar empíricamente la calidad de un SIBO.

Somos conscientes que el proceso de evaluación de la calidad no es sencillo, ya que depende de los contextos específicos de desarrollo y de diferentes perspectivas para evaluar un mismo producto. Sin embargo, disponer de un marco de referencia para evaluar la calidad de un SIBO permitiría al evaluador determinar los aspectos y criterios de medición individuales, implementarlos y realizar la integración apropiada para producir un valor de calidad global.

2. COMPONENTES DE UNA ONTOLOGÍA

Dentro de las herramientas informáticas, las ontologías generalmente se usan para especificar y comunicar el conocimiento en un dominio determinado. 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, 1998).

Los componentes de las ontologías (Gruber, 1993), (McGuinness, 2002) son:

- **Clases o conceptos:** son las ideas básicas que se intentan formalizar. Las clases son la base de la descripción del conocimiento en las ontologías ya que describen los conceptos del dominio. Una clase es un conjunto de objetos (físicos, tareas, funciones, métodos, planes, estrategias, procesos de razonamiento, etc.). Desde el punto de vista de la lógica, los objetos de una clase se pueden describir especificando las propiedades que éstos deben satisfacer para pertenecer a esa clase. Una clase puede dividirse en subclases, las cuales representarán conceptos más específicos que la clase a la que pertenecen. Una clase cuyos componentes son clases, se denomina superclase o metaclase.
- **Instancias o individuos:** se utilizan para representar objetos determinados de un concepto. Son miembros de una clase, que no pueden ser divididos sin perder su estructura y sus características funcionales.
- **Relaciones:** representan la interacción y el enlace entre los conceptos del dominio. Suelen formar la taxonomía del dominio. Algunas de las relaciones que más se utilizan son: "subclase-de", "parte-de", "conectada-a".
- **Propiedades:** describen las características o los atributos de conceptos o clases. Pueden adoptar diferentes tipos de valores. Las especificaciones, los rangos y las restricciones sobre estos valores se denominan características o facetas. Para una



clase dada, las propiedades y las restricciones sobre ellos son heredadas por las subclases y las instancias de la clase.

- **Axiomas:** especifican las definiciones de los términos en la ontología y las restricciones de sus interpretaciones. Son teoremas que se declaran sobre relaciones que deben cumplir los elementos de la ontología. Los axiomas son necesarios para definir la semántica o el significado de los términos; permiten, junto con la herencia de conceptos, inferir conocimiento que no esté indicado explícitamente en la taxonomía definida por la ontología.

3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN BASADOS EN ONTOLOGÍAS

3.1. Uso de las Ontologías en los SI

Las principales ventajas del uso de ontologías en los SI, son las siguientes:

- Capturan la semántica de la información, representándola en un lenguaje formal, y facilitan el almacenamiento de los metadatos relacionados.
- Se usan, dentro de los SI, para hacer explícito el conocimiento compartido del dominio y, por lo tanto, reusable.
- Facilitan las consultas y la navegación semánticas en el SI.
- Contribuyen a la portabilidad de un SI, puesto que simplifican la transferencia del sistema a otro entorno diferente (Yildiz y Miksch, 2007).
- Permite separar el conocimiento del dominio de los componentes del SI, facilitando la adaptabilidad del SI a los cambios del dominio.
- Contribuyen a aumentar la calidad de la interoperabilidad de los SI y a reducir los "costos" involucrados en el desarrollo y el mantenimiento de los SI.

En Guarino (1998) se detallan estas y otras ventajas del uso de las ontologías en los SI. En base a lo expuesto precedentemente, se puede afirmar que al disponer de una o más ontologías en un SI, es factible recuperar, distribuir, interoperar y compartir información/conocimiento de una manera más eficaz, efectiva y eficiente.

Los sistemas desarrollados por Fonseca y Egenhofer (1999), Chandra y Tumanyan (2007) y Abecker (2001), son una muestra de ello.

3.2. Aspectos Temporales de los SIBO

Guarino (1998) aborda el rol de las ontologías en los SI y considera que pueden usarse en dos dimensiones, una temporal y otra estructural.

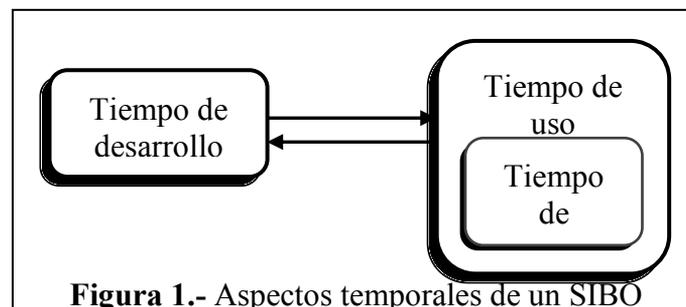
La dimensión temporal involucra el uso de ontologías en tiempo de ejecución o en tiempo de desarrollo. Por ejemplo, las ontologías en tiempo de ejecución se refieren a las ontologías usadas para facilitar el proceso de mapeo y compartición de los esquemas

de la base de datos y de las estructuras de servicio web, o para habilitar la comunicación entre agentes software.

Las ontologías en tiempo de desarrollo se refieren al proceso de crear ontologías que describen un dominio dado, y el uso de estas ontologías para soportar la creación de los componentes del SI. Por un lado, los diseñadores pueden hacer uso de la ontología como una valiosa base de conocimiento compartido y común de un dominio específico y sus tareas relacionadas, disponible en una biblioteca de ontología.

Sin embargo, los diseñadores de los SIBO se enfrentan con un conjunto de obstáculos, ya que la ontología representa el conocimiento de un dominio, generalmente, dinámico y cambiante. Ellos no sólo tienen que enfrentarse con el problema de la integración/interoperabilidad de los sistemas; sino también lograr que los mismos sean extensibles y adaptables a los cambios del dominio de aplicación.

En este trabajo, a los aspectos temporales propuestos por Guarino (1998), se les agrega el "tiempo de uso" para soportar explícitamente los cambios en el dominio del sistema. En la figura 1 se representan dichos aspectos.



Así, los tres aspectos temporales, íntimamente relacionados, para los SIBO son los siguientes:

- **Tiempo de desarrollo:** se refiere al proceso de creación de los componentes del SIBO, en base a requisitos preestablecidos.
- **Tiempo de uso:** se refieren al proceso de seguimiento y control y, si la situación lo requiere, el desarrollo de mecanismos que permitan la integración/extensibilidad/adaptación a los requisitos del entorno del SIBO. Dentro de éste también hay un tiempo de desarrollo.
- **Tiempo de ejecución:** representa el tiempo transcurrido entre una consulta al sistema y la respuesta brindada por el SIBO; forma parte del tiempo de uso.

3.3. Definición y Componentes de un SIBO

En un trabajo anterior hemos conceptualizado, desde el punto de vista estructural, dos tipos de SIBO según el rol que las ontologías tienen en los SI (Álvarez et al., 2008): a) la ontología forma parte de cada uno de los componentes estructurales; b) la ontología

es un componente más del SI y coopera con los otros componentes para conseguir los propósitos del sistema. Independientemente del tipo de SIBO, desde el punto de vista funcional y operativo, las ventajas son similares.

En la figura 2, se representa un SIBO, en el que cada componente estructural tiene funciones específicas, que se ven fortalecidas por el uso de la ontología. De esta manera, la ontología soporta la comunicación con los usuarios, representando explícitamente la comprensión que ellos tienen de la funcionalidad del sistema y de los datos. En esta figura se muestra el rol de la ontología en el SIBO (flechas con línea llena); se indica, en el bloque correspondiente, la función de los otros componentes y las relaciones entre ellos (flechas con línea punteada).

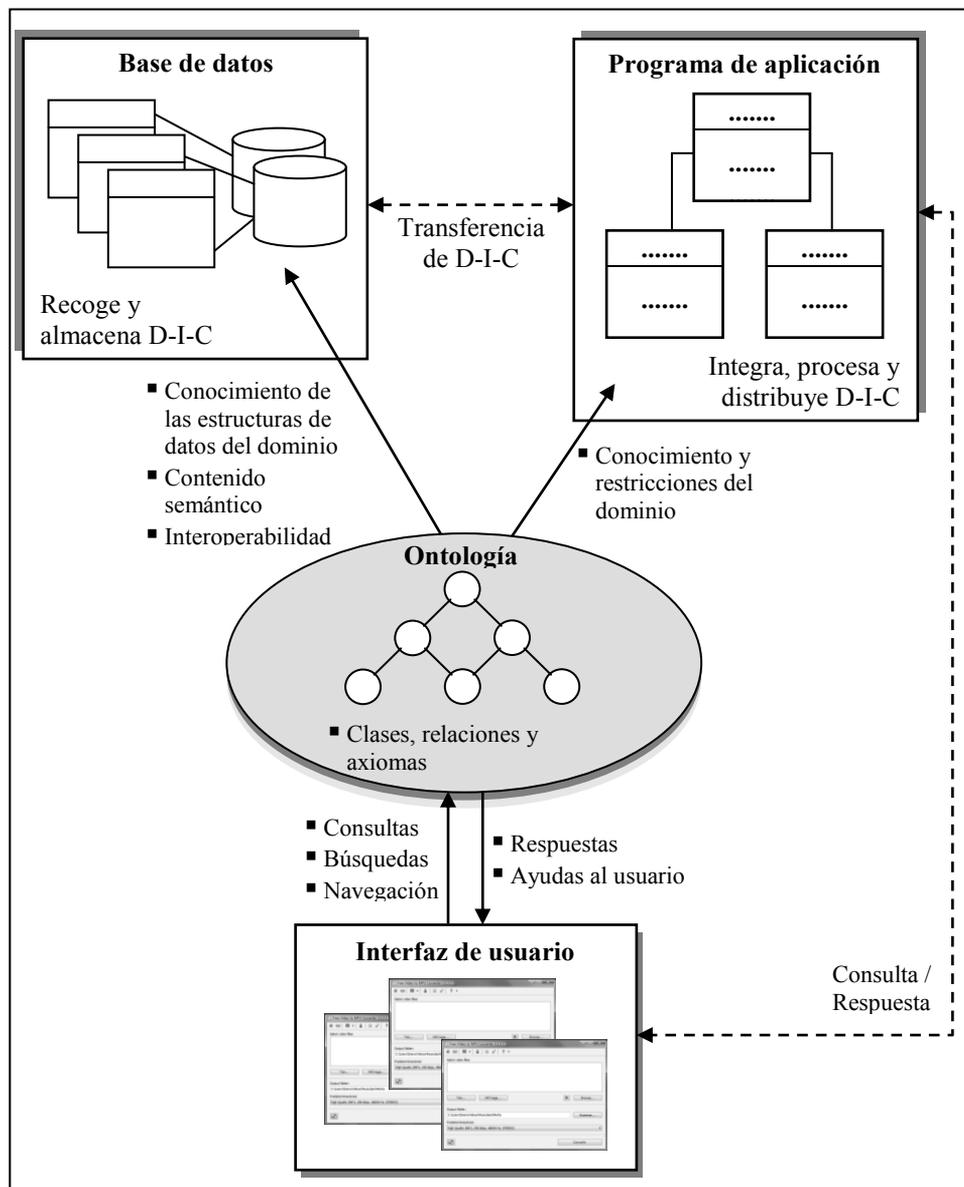




Figura 2.- Componentes de un SIBO [basado en (Soares y Fonseca, 2007) y (Barchini et al., 2006)]

Dependiendo del dominio y del propósito del SIBO, los componentes "programa de aplicación" y "base de datos" se pueden desarrollar utilizando diferentes paradigmas (orientación a objetos, agentes inteligentes, etc.). En este trabajo se consideran el desarrollo orientado a objetos y las bases de datos relacionales.

A pesar de las diferencias existentes entre el modelado de ontologías y el orientado a objetos, una ontología podría verse como una estructura de clases y objetos en el diseño conceptual del programa de aplicación. De igual manera, una ontología podría trazarse a un esquema de una base de datos relacional. En consecuencia, algunas reglas y definiciones son aplicables a los tres componentes.

A continuación se explica brevemente, el rol de cada componente de un SIBO.

- **Programa de aplicación:** gestiona la integración y la distribución de la información y la lógica de procesamiento de Datos-Información-Conocimiento (D-I-C). La ontología, consistente de los conceptos del dominio y sus relaciones, se convierte en el diagrama de clases del programa de aplicación. Se agregan funcionalidades a las clases a partir los axiomas de la ontología, de las restricciones y de los mecanismos de inferencia (Chandra y Tumanyan (2007).
- **Bases de datos:** la ontología proporciona contenido semántico a los datos del dominio; permite la interoperabilidad entre bases de datos puesto que reduce los conflictos derivados de la heterogeneidad (sintáctica, esquemática y semántica). Las ontologías funcionan como mediadoras ente los usuarios y los recursos de información, por lo que son las encargadas de reflejar los cambios en los requerimientos de los usuarios y las necesidades de D-I-C.
- **Interfaz de usuario:** la ontología ayuda al usuario a navegar a través de la aplicación o a visualizar un conjunto específico de datos. Es la encargada de "traducir" los términos en lenguaje natural al vocabulario del sistema, posibilitando el uso de diferentes términos (sinónimos, hiperónimos e hipónimos) del dominio de aplicación.
Además, las ontologías incorporan información semántica en las restricciones impuestas a las clases y relaciones, usadas para modelar un dominio y tarea. Este concepto ha sido utilizado con éxito en el proyecto Protegè para generar interfaces que verifican las restricciones. (Guarino, 1998)

A partir de lo expuesto en este apartado, podemos definir un SIBO de la siguiente manera:

"Un SIBO es un conjunto de componentes estructurales, manejados/soportados por ontología/s que permiten gestionar datos-información-conocimiento, para hacer explícito el conocimiento compartido del dominio, y para facilitar la portabilidad, la interoperabilidad y la extensibilidad del sistema, en un contexto organizacional determinado."

4. CALIDAD DE UN SIBO

4.1. Dimensiones e Indicadores

A partir de los trabajos de Tartir et al. (2007), Gangemi et al. (2006), Mostowfi y Fotouhi (2006), Hoxmeier (1997), Whitmire (1997), Lanza y Marinescu (2006), Fonseca y Martin (2007), Colomb (2002), y Colomb y Weber (1998), y de los resultados de nuestra investigación, se proponen cuatro dimensiones y, en algunos casos, los indicadores que permitirían evaluar empíricamente la calidad de un SIBO.

En la tabla 1, se incluyen las cuatro dimensiones con una breve descripción, las preguntas centrales que guían el proceso de evaluación, los principales responsables, el momento y los recursos mínimos necesarios para llevar a cabo la evaluación. Los recursos representan los elementos para la medición de cada uno de los indicadores de cada dimensión. Estos pueden ser: documentación del SIBO, productos parciales o definitivos del SIBO en desarrollo, o el SIBO en ejecución.

DIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN	CUESTIONES SUBYACENTES	PRINCIPALES RESPONSABLES ¿Quién?	MOMENTO DE LA EVALUACIÓN ¿Cuándo?	RECURSOS NECESARIOS ¿Con qué recursos?
<i>Descriptiva</i>	Grado en que el SIBO brinda información sobre sus características intrínsecas e identificatorias.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Puede caracterizarse? • ¿Cómo se desarrolló? • ¿Qué rol tiene la ontología? 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollador • Administrador del sistema 	En tiempo de uso	Documentación del SIBO
<i>Estructural</i>	Grado en que el SIBO especifica explícita, formal y de manera consensuada sus componentes estructurales.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué información/ conocimiento del dominio contiene? • ¿Integra, procesa y distribuye D-I-C de manera adecuada? 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollador • Experto del dominio 	<ul style="list-style-type: none"> • En tiempo de desarrollo • En tiempo de ejecución (durante la prueba del sistema) 	Productos parciales/ definitivos del SIBO
<i>Funcional</i>	Capacidad del SIBO para proporcionar funciones que satisfagan las necesidades especificadas. Esta dimensión es la que permite determinar el grado de concordancia con el propósito y los requisitos del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Hace lo que el usuario final pretende? 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollador • Usuario 	<ul style="list-style-type: none"> • En tiempo de desarrollo • En tiempo de ejecución 	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación del SIBO • SIBO en ejecución
<i>Operacional</i>	Capacidad del SIBO para usarse, comunicarse e interactuar.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Puede usarse convenientemente? 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollador • Usuario 	En tiempo de ejecución	<ul style="list-style-type: none"> • Documentación del SIBO • SIBO en ejecución



Tabla 1.- Dimensiones de la calidad de un SIBO

Así, la definición nominal de la calidad de un SIBO, es la siguiente:

"La calidad de un SIBO es el grado con el que el sistema puede ser caracterizado; refleja, en cada uno de sus componentes, el conocimiento compartido del dominio; cumple con los requisitos especificados y responde con flexibilidad a los cambios del dominio; puede interoperar con otros sistemas y usarse de manera efectiva."

Esta definición contempla las cuatro dimensiones: "el sistema puede ser caracterizado" (dimensión descriptiva); "refleja, en cada uno de sus componentes, el conocimiento compartido del dominio", (dimensión estructural); "cumple con los requisitos especificados y responde con flexibilidad a los cambios del dominio" (dimensión funcional); y "puede interoperar con otros sistemas y usarse de manera efectiva" (dimensión operacional).

Para cada dimensión, se formulan las subdimensiones y los indicadores respectivos que permitirán evaluar la calidad de un SIBO en un contexto y ámbito específico.

Los indicadores pueden medirse mediante operaciones (índices/métricas) o investigarse por medio de ítems o preguntas que se incluyen en los instrumentos que se utilizan para recopilar la información (cuestionarios, entrevistas, *checklists*, etc.).

En la tabla 2 se incluyen las subdimensiones para las dimensión descriptiva. Para su elaboración se han considerado las propuestas de Dublin Core (<http://dublincore.org>), y de IEEE Std 830-1998 (<http://www.ieee.org>).

Tabla 2.- Subdimensiones e indicadores de la dimensión descriptiva

SUBDIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN	INDICADORES
<i>Datos identificatorios</i>	Grado en que el SIBO se puede identificar	<ul style="list-style-type: none"> • Denominación/Nombre • Autores/Desarrolladores/Otros colaboradores • Organización/Empresa/Compañía • Tipo de distribución/modificación (libre o no, abierto o no) • Requisitos técnicos • Documentación (Estado del desarrollo, Ontologías incluidas/Reuso, Antecedentes de uso) • Descripción/Resumen y palabras claves • Fecha de distribución/modificación • Derechos de autor/Licencias/Regalías
<i>Tipo</i>	Grado en que el sistema brinda información sobre el soporte con el que se diseñó/construyó y el área de aplicación	SIBO (web, agentes, distribuido) para uso: comercial, web, geográfico educativo, medicina, etc.
<i>Rol y nivel de formalidad de la ontología</i>	Grado en que el sistema brinda información sobre el rol y el nivel de formalidad de la ontología	<p>Rol</p> <ul style="list-style-type: none"> • En tiempo de desarrollo y/o en tiempo de ejecución • Soporte para el componente: <ul style="list-style-type: none"> – Base de datos – Programa de aplicación – Interfaz de usuario <p>Nivel de formalidad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altamente informal: expresada en lenguaje natural • Semi-informal: expresada en un lenguaje natural restringido y estructurado • Semi-formal: expresado en un lenguaje artificial definido formalmente • Rigurosamente formal: los términos están meticulosamente definidos con semántica formal, teoremas y pruebas
<i>Ámbito, propósito y contexto de uso</i>	Descripción de todos los beneficios, objetivos y metas con tanta precisión como sea posible, y de la visión global del sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Funciones • Restricciones • Suposiciones y dependencias • Características de los usuarios
<i>Herramientas de desarrollo</i>	Descripción explícita de metodologías, lenguajes y entornos de desarrollo del SIBO	<p>Metodología</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lenguajes (orientados a objetos, orientados a eventos, SQL, etc.) • DBMS • Lenguajes para ontologías <p>Herramientas (CASE, entornos de desarrollo de ontologías, etc.)</p>

En la tabla 3 se incluyen, para la dimensión estructural, las subdimensiones: programa de aplicación, base de datos, interfaz de usuario y ontología.

Tabla 3.- Subdimensiones y principales indicadores de la dimensión estructural

SUBDIMENSIÓN	PRINCIPALES INDICADORES
<i>Programa de aplicación</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Similitud: indica el grado en que dos o más clases son similares en términos de estructura, comportamiento, función o propósito. • Cohesión: determina si el conjunto de propiedades que posee una clase corresponde al dominio del problema. • Suficiencia: define el grado en que una clase posee los atributos mínimos necesarios para que esa clase sea útil. • Tamaño: se define en términos de cuatro aspectos: población, volumen, longitud y funcionalidad. <ul style="list-style-type: none"> – Población: representa la cantidad de clases y operaciones. – Volumen: este indicador es similar al de población pero se mide dinámicamente. – Longitud: es la medida de una cadena de elementos de diseño interconectados (por ejemplo, la profundidad de un árbol de herencia). – Funcionalidad: estos valores proporcionan una indicación indirecta del valor entregado al cliente. • Complejidad: se define en términos de características estructurales, realizando el examen de las interrelaciones entre las clases. Este indicador está relacionado con el tamaño. • Acoplamiento: representa las conexiones físicas entre los elementos del diseño (por ejemplo, el número de colaboraciones entre clases o el número de mensajes intercambiados entre objetos). • Volatilidad: mide la probabilidad de que ocurra un cambio. • Conectividad: grado por el cual el programa de aplicación interactúa con la ontología
<i>Base de datos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Corrección: un esquema es correcto cuando utiliza de forma apropiada los conceptos del modelo/esquema conceptual (E/R, OO, etc.). • Expresividad: se establece si el esquema representa los requisitos de una manera natural, sin necesidad de explicaciones adicionales. • Minimalidad: se determina si el esquema es minimal cuando todo aspecto de los requisitos aparece sólo una vez en el esquema • Compleción: un esquema es completo cuando representa todas las características relevantes del dominio de aplicación (grado de cobertura). • Homogeneidad se analizan los siguientes casos: <ul style="list-style-type: none"> – Sintáctica: se determina si las bases de datos usan el mismo paradigma (tales como relacional, orientado a objetos). – Esquemática: se determina si un objeto en el mundo real está representado por un único concepto en la base de datos, evitando los conflictos de nombres. – Semántica: se determina si un hecho tiene una única descripción en la base de datos, impidiendo los conflictos de dominio. • Extensibilidad: en este indicador se analiza: <ul style="list-style-type: none"> – Funcionalidad: si el esquema se descompone en partes (módulos, vistas) y es flexible para agregar, modificar y remover elementos. – Vigencia del modelo de datos y de los datos: si el modelo y los datos pueden reflejar los cambios del dominio de aplicación. • Legibilidad: se determina si el diagrama (que representa al esquema) respeta ciertos criterios estéticos que lo hacen elegante. • Conectividad: grado por el cual la base de datos es interoperable con la ontología.
<i>Interfaz de usuario</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Riqueza de formatos: se analiza la existencia de formatos diversos para facilitar las búsquedas, consultas, etc. • Potencialidad: se analiza si la interfaz permite múltiples tareas y múltiples usuarios. • Personalización: se analiza si el usuario puede personalizar la interfaz. • Compleción: grado de cumplimiento de los requisitos. • Corrección: grado en que la interfaz implementa correctamente las tareas del usuario. • Independencia: se analiza si la gestión de la interfaz está aislada de la aplicación. • Estética: grado en que el SIBO usa diseños claros, ordenados y armoniosos. Se analiza:



SUBDIMENSIÓN	PRINCIPALES INDICADORES
	<ul style="list-style-type: none"> - Distribución balanceada/ proporcionada de objetos - Uniformidad y simplicidad del diseño - Cantidad y disposición de los objetos • Conectividad: grado por el cual la ontología interactúa con la interfaz de usuario.

Tabla 3.- Subdimensiones y principales indicadores de la dimensión estructural (continuación)

SUBDIMENSIÓN	PRINCIPALES INDICADORES
<i>Ontologías</i>	<p>Clases/ instancias</p> <p>Grado en que las clases describen los conceptos del dominio y son capaces de representar grupos de individuos con características en común.</p> <p>En esta subdimensión se analizan los siguientes criterios (de diseño):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Homogeneidad: se analiza si una clase tiene instancias similares (todas las instancias deben tener el mismo conjunto de propiedades para pertenecer a una clase), y la inexistencia de redundancia. • Diversificación: se examina si existen jerarquías diversas, que permitan aumentar la potencia de los mecanismos de herencia múltiple. • Coherencia: se observa si las clases están organizadas y conectadas formando una estructura lógica. • Compleción: se determina si los conceptos esenciales están presentes en la ontología. En general, se asume que a mayor cantidad de atributos más conocimiento cubre la ontología. La completación se determina en función de las siguientes métricas: riqueza de clases, riqueza de atributos y riqueza de la herencia. • Explicitud: se determina si las definiciones de los conceptos/clases se expresan de manera clara, objetiva e independiente del contexto social o computacional. • Mínimo compromiso ontológico: se analiza si existe la menor cantidad posible de suposiciones acerca del mundo modelado.
	<p>Relaciones</p> <p>Grado en que las relaciones permiten mostrar las conexiones de las clases.</p> <p>En esta subdimensión se analizan los siguientes criterios (de diseño):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compleción: se determina si el número total de relaciones es el adecuado. La completación se determina en función de la siguiente métrica: riqueza de relaciones. • Coherencia: se analiza si las relaciones son lógicas, consistentes (no contradictorias) y adecuadas al dominio. • Claridad: se determina si las relaciones son no ambiguas.
	<p>Axiomas</p> <p>Grado en que la ontología proporciona propiedades adicionales y/o restricciones, especificadas en un lenguaje lógico, de los términos definidos sobre el dominio.</p> <p>En esta subdimensión se examina principalmente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consistencia: se determina si el axioma no permite deducir simultáneamente una proposición y su contraria. • Independencia: ninguno de los axiomas puede ser deducido o demostrado a partir de los demás.

Para los indicadores del "programa de aplicación" se consideraron las características propuestas por Whitmire (1997), y Lanza y Marinescu (2006), entre otros.



En el caso de la subdimensión "base de datos" se consideraron los trabajos de Fonseca y Egenhofer (2002), Sheth (1998), Hoxmeier (1997) y Moody y Shanks (2003).

Del análisis de los trabajos de Guarino (1998), Chandra y Tumanyan (2007), Soares y Fonseca (2007) y Galván (2005), se formularon los indicadores de la subdimensión "interfaz de usuario".

Algunos de los indicadores de la subdimensión "ontología" surgieron de los trabajos de Tartir et al. (2005), Gangemi et al. (2006), Mostowfi y Fotouhi (2006) y Guarino y Welty (1998).

En el análisis de clases de la ontología, se recomienda verificar si se cumplen los siguientes principios:

- **Distinción ontológica:** las clases de una ontología deben ser disjuntas; es decir, dos clases no pueden tener una instancia en común. Generalmente, este control lo realizan los editores de ontologías.
- **De identidad:** el conjunto de propiedades que se consideran invariantes en una instancia de una clase deben estar aisladas. Se asume el principio de Quine: "no hay entidad sin identidad".
- **Principio de minimización:** se debe reducir la "distancia" semántica entre conceptos semejantes. En la comprobación de este principio juega un rol preponderante el experto del dominio.

Se han considerado, entre otras, las propuestas de: Gangemi et al. (2006), Tartir et al. (2007) y Galvan (2005) para la incorporación de las subdimensiones de la dimensión funcional (tabla 4) y de la dimensión operacional (tabla 5).

Tabla 4.- Subdimensiones de la dimensión funcional

SUBDIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN
<i>Eficacia</i>	Grado en que el SIBO se ajusta a los requisitos o necesidades de los usuarios finales. Se determina: corrección, exactitud, generalidad y completión.
<i>Comportamiento sistémico</i>	Grado en que el SIBO es capaz de reaccionar con flexibilidad a las exigencias cambiantes del dominio. Se analiza: robustez, extensibilidad, escalabilidad, estructuración.
<i>Integración</i>	Grado en que el SIBO es capaz de integrarse con otros sistemas.
<i>Seguridad</i>	Grado en que el SIBO permite identificar y evaluar los riesgos potenciales que pueden hacer que falle el sistema.
<i>Reusabilidad</i>	Capacidad del SIBO de ser utilizado en la construcción de diferentes aplicaciones. Se analizan: existencia de código abierto y documentación, flexibilidad, generalidad.
<i>Portabilidad</i>	Grado en que el SIBO puede transferirse de un entorno a otro diferente.

Tabla 5.- Subdimensiones e indicadores de la dimensión operacional

SUBDIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	DESCRIPCIÓN
<i>Eficiencia</i>	Grado en que el SIBO provee un desempeño adecuado durante el tiempo de uso.	Tiempo de respuesta	Grado en que el SIBO proporciona respuestas a consultas y realiza las inferencias en un tiempo adecuado.
		Utilización de recursos	Grado en que el SIBO utiliza cantidades y tipos adecuados de recursos.
<i>Interoperabilidad</i>	Grado en que el SIBO permite acceder y compartir conocimiento a otros sistemas (aunque estén desarrollados en distintas plataformas).	Interoperabilidad sintáctica	Existencia de una sintaxis uniforme que facilite la comunicación y el intercambio.
		Interoperabilidad semántica	Capacidad de intercambiar conocimiento basándose en el significado común de los términos y expresiones que se usan.
<i>Usabilidad</i>	Capacidad del SIBO de ser comprendido, aprendido, usado y ser atractivo para el usuario, en condiciones específicas de uso.	Facilidad de aprendizaje	Facilidad con la que nuevos usuarios desarrollan una interacción efectiva con el sistema.
		Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Variedad de posibilidades con las que el usuario y el sistema pueden intercambiar información. • Capacidad de ser usado como herramienta en la adquisición de información/conocimiento.
		Amigabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad de las consultas para acceder al sistemas. • Consideración de aspectos ergonómicos (existencia de retroalimentación y existencia de ayudas al usuario). • Disponibilidad de documentación.
		Claridad y objetividad	Grado en que el SIBO proporciona al usuario el significado de los términos, previamente consensuados, de manera clara, objetiva y, en lo posible, en lenguaje natural para facilitar su comprensión.

4.2. Operacionalización de los indicadores compleción de clases y compleción de relaciones

A modo ilustrativo, en la tabla 6, se ofrece un ejemplo de la operacionalización concreta de los indicadores compleción de clases y compleción de relaciones de la subdimensión "ontología" (tabla 3). Para la elaboración de esta tabla se utilizaron, como base, los trabajos de Tartir et al. (2005) y Tartir et al. (2007). Se incluyen cuatro columnas: la primera identifica la variable por su nombre; la segunda dice qué es, es decir, cómo se define conceptualmente; la tercera columna brinda respuesta a la pregunta "¿Cómo se observa esta variable?" y contiene los índices de la misma; y la



cuarta columna responde la pregunta "¿Cómo se mide?". La definición operacional permite conocer con claridad el nivel de medición de la variable, según sea nominal, ordinal, escalar o de razón.

Tabla 6.- Operacionalización de los indicadores compleción de clases y compleción de relaciones

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL ¿Qué es?	DEFINICIÓN INSTRUMENTAL ¿Cómo se observa?	DEFINICIÓN OPERACIONAL ¿Cómo se mide y se interpreta?
Compleción de clases (CC)	La CC determina si los conceptos esenciales están presentes en la ontología (riqueza de clases, de propiedades y de herencia)	Se determina si el número total de clases es el adecuado. Para ello se calcula: riqueza de clases (RC), riqueza de atributos (RA) y riqueza de herencia (RH). A) Riqueza de clases $RC = \frac{ C' }{ C }$ donde $ C' $ es el número de clases que han sido instanciadas y $ C $ es el número total de clases.	$0 \leq RC \leq 1$ Si RC es muy alto (cercano a 1) se puede afirmar que la ontología representa, en gran parte, el conocimiento del dominio.
		B) Riqueza de propiedades $RP = \frac{ A }{ C }$ donde $ A $ es el número de atributos/ propiedades para todas las clases y $ C $ es el número de clases.	RP representa el promedio de propiedades por clase. Si RP es muy alto indica que cada clase tiene, en promedio, un número alto de atributos y por lo tanto contiene más conocimiento. Si RP es muy bajo podría indicar que se brinda menos información sobre cada clase.
		C) Riqueza de herencia Se calcula el grado de diseminación (GD) de cada clase. Esta métrica GD describe la distribución de la información en los diferentes niveles del árbol de herencia de la ontología o el <i>fan-out</i> de las clases padres. GD representa el <i>fan-out</i> total. $GD = \sum_{i=1}^{ C } \sum_{j=1}^{ SC_i } SC_k$ con $k = 1, \dots, n$ para cada j Donde: $ C $ representa la cantidad de clases; $ SC_i $ representa la cantidad de subclases de la clase i ; $ SC_k $ representa la cantidad de subclases de la subclase j ; La riqueza de la herencia, RH se obtiene de la siguiente forma: $RH = \frac{GD}{ C }$	Si RH es alto significa que la ontología es de naturaleza vertical y que refleja un tipo muy detallado de conocimiento. Si RH es bajo significa que la ontología es de naturaleza horizontal, o sea, que la ontología representa una amplia gama de conocimientos generales.

Tabla 6.- Operacionalización de los indicadores completación de clases y completación de relaciones (continuación)

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL ¿Qué es?	DEFINICIÓN INSTRUMENTAL ¿Cómo se observa?	DEFINICIÓN OPERACIONAL ¿Cómo se mide y se interpreta?
Completación de relaciones (CR)	La CR determina si el número total de relaciones permite inferir el conocimiento que está explícito en la ontología.	<p>Riqueza de relaciones Se calcula</p> $RR = \frac{ P }{ SC + P }$ <p>donde P es el número de relaciones definidas en la ontología y SC es el número de subclases.</p>	<p>$0 \leq RR \leq 1$</p> <p>Si RR está cerca de cero indica que la mayoría de las relaciones es de tipo clase-subclase (es decir, relación <i>is-a</i>).</p> <p>Si RR está cerca de uno indica que la mayoría de las relaciones son de otro tipo que las relaciones de clase-subclase.</p> <p>Esta métrica refleja la diversidad de relaciones en la ontología. Una ontología que contiene muchas relaciones distintas a las de clase-subclases es más rica que una taxonomía con solamente relaciones clase-subclases.</p>

El valor de calidad para **CC** puede ser *alto*, *medio* o *bajo*; según los valores obtenidos para **RC**, **RP** y **RH**. El valor de calidad para **CR** puede ser *alto*, *medio* o *bajo*, según el valor de **RR**. Cabe aclarar que estos valores son subjetivos, dependen del tipo de SIBO y del rol de la ontología en el mismo.

5. CONCLUSIONES

Con la finalidad de precisar el objeto de análisis, en este trabajo se brindaron dos definiciones nominales: la de un SIBO y la de "calidad de un SIBO".

Para determinar la calidad de un SIBO, se analizaron diversos artículos relacionados con la calidad de distintos tipos software (SI, ontologías y productos software en general).

Al abordar la operacionalización de la variable "calidad de un SIBO", usamos un enfoque integral al considerar dimensiones que involucran no sólo sus componentes estructurales, sino también aspectos funcionales y operacionales, que se presentan en desarrollo, ejecución y uso de un SIBO.



En lugar de presentar un único conjunto de atributos, cada una de las variables (dimensiones) consideradas se desglosaron en subdimensiones e indicadores que representan ámbitos específicos de las variables. Así, se propusieron cuatro dimensiones y, en la mayoría de los casos, los indicadores que permitirían evaluar empíricamente la calidad de un SIBO.

Por razones de espacio (extensión) no se analizaron las relaciones entre subdimensiones e indicadores de cada una de las cuatro dimensiones. Este análisis es muy importante porque permite controlar el impacto que puede tener un alto/bajo valor de un indicador en otro. Así, la mayoría de las subdimensiones de la dimensión funcional y operacional tienen una gran "repercusión" en las subdimensiones de la dimensión estructural. En este sentido, el indicador "conectividad", tiene gran importancia porque permite tener una aproximación real a las incidencias que puede tener un cambio en la ontología, como consecuencia de un cambio en el dominio de aplicación.

Por otra parte, el marco de referencia propuesto aborda las subdimensiones y los indicadores (qué evaluar), los principales responsables (quién evalúa), el momento recomendado (cuándo se evalúa) y los recursos necesarios (con qué se evalúa). Es conveniente que en trabajos futuros se ofrezcan las definiciones instrumentales y operacionales de cada uno de los indicadores con el propósito de obtener un marco más exhaustivo y detallado de los procesos de medición individuales.

A modo ilustrativo se ofreció un ejemplo de la operacionalización concreta de los indicadores compleción de clases y compleción de relaciones.

Disponer de un marco de referencia para evaluar la calidad de un SIBO permitiría al evaluador determinar los aspectos y criterios de medición individuales. A partir de estos valores es factible realizar la integración apropiada para producir un valor de calidad global y tomar decisiones adecuadas con respecto al uso del SIBO.

Somos conscientes que el proceso de evaluación no es sencillo, ya que depende del dominio de aplicación, del contexto específico de desarrollo y de la consideración de diferentes perspectivas para evaluar a un mismo producto.

REFERENCIAS

ABECKER, Andreas et al. *DECOR - Delivery of Context-Sensitive Organizational Knowledge*. Abstract submitted to: eBusiness and eWork 2001 (EMMSEC 2001) Conference and Exhibition, Venice, Italy, October 17-19, 2001 [consulta: 04 de octubre de 2008]. Disponible en Web: <http://www.dfki.uni-kl.de/decor/deldec/D1-Final.pdf>.



ÁLVAREZ, Margarita M.; PALLIOTTO, Diana; BARCHINI, Graciela E. *Las Ontologías en la nueva generación de los Sistemas de Información*. Encuentro Chileno de Computación, 2008 [consulta: 28 de noviembre de 2008]. Disponible en Web: <<http://lahuen.dcc.uchile.cl/~jcc2008/actas/ECC/booklet.pdf>>.

BARCHINI, Graciela; ÁLVAREZ, Margarita; HERRERA, Susana. *Sistemas de Información: Nuevos Escenarios basados en Ontologías*. Revista de Gestão da Tecnologia e Sistemas de Informação- Journal of Information Systems and Technology Management - Vol. 3, No. 1, 2006, p. 3-18. ISSN online: 1807-1775.

CHANDRA, Charu; TUMANYAN, Armen. *Ontology-driven Information System for Supply Chain Management*. Industrial and Manufacturing Systems Engineering Department, University of Michigan, 2007 [consulta: 5 de octubre de 2007]. Disponible en Web: <<https://commerce.metapress.com/content/v7855697600414p5/resource-secured/?target=fulltext.pdf>>.

COLOMB, Robert M. *Quality of Ontologies in Interoperating Information Systems*. Technical Report 18/02 ISIB-CNR Padova, Italy, November, 2002. National Research Council Institute of Biomedical Engineering ISIB-CNR [consulta: 20 de octubre de 2007]. Disponible en Web: <<http://www.loa-cnr.it/Papers/ISIB-CNR-TR-18-02.pdf>>.

COLOMB, Robert M.; WEBER, Ron. *Completeness and Quality of an Ontology for an Information System*. Paper presented at International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98) Trento, Italy, 6-8 June, 1998. In N. Guarino (ed.) *Formal Ontology in Information Systems* IOS-Press (Amsterdam) 207-217 [consulta: 20 de octubre de 2007]. Disponible en Web: <<http://www.itee.uq.edu.au/~colomb/Papers/Ontology.html>>.

FONSECA, F.; EGENHOFER, M. *Ontology Driven Geographic*. Information Systems Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems. Kansas City, Missouri, United States. Pages: 14 - 19. 1999.

FONSECA, F.; MARTIN, J. *Learning the Differences Between Ontologies and Conceptual Schemas Through Ontology-Driven Information Systems*. JAIS - Journal of the Association for Information Systems - Special Issue on Ontologies in the Context of IS Volume 8, Issue 2, Article 3, pp. 129-142, February 2007 [consulta: 20 de octubre de 2007]. Disponible en Web: <http://www.personal.psu.edu/faculty/f/u/fuf1/publications/Fonseca_MartinOntologies_and_SchemasAbstract.pdf>.

GALVAN, I. M. L. *Evaluación de la Calidad de los Sistemas de Información desde una Perspectiva Blanda. Propuesta Metodológica*. Tesis para optar por el título de Licenciada en Sistemas de Información. Universidad Nacional de Santiago del Estero. República Argentina, 2005.



GANGEMI, A.; CATENACCI, C.; CIARAMITA, M.; LEHMANN, J. *Modelling Ontology Evaluation and Validation*. In proceedings of the 2006 European Semantic Web Conference [consulta: 18 de agosto de 2007]. Disponible en Web: <http://www.loa-cnr.it/Papers/ESWC_GangemiEtAl_Final2.pdf>.

GRUBER, T. R. *Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing*. 1993 [consulta: 20 de octubre de 2007]. Disponible en Web: <<http://citeseer.ist.psu.edu/gruber93toward.html>>.

GUARINO, N. *Formal Ontology and Information Systems*, in Formal Ontology in Information Systems, Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, 6-8 June 1998. Amsterdam, IOS Press, pp. 3-15 [consulta: 18 de agosto de 2007]. Disponible en Web: <<http://www.loa-cnr.it/Papers/FOIS98.pdf>>.

GUARINO, N.; WELTY, C. *Evaluating Ontological Decisions with ONTOCLEAN*. Guarino, Ed. Amsterdam, Netherlands: IOS Press, 1998 [consulta: 2 de febrero de 2008]. Disponible en Web: <<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26864/>>.

HOXMEIER, John A. *A Framework for Assessing Database Quality*. 1997 [consulta: 20 de febrero de 2008]. Disponible en Web: <<http://osm7.cs.byu.edu/ER97/workshop4/jh.html>>.

LANZA, Michele; MARINESCU, Radu. *Object-Oriented Metrics in Practice. Using Software Metrics to Characterize, Evaluate, and Improve the Design of Object-Oriented Systems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2006.

MCGUINNESS, D.L. *Ontologies Come of Age*. Fensel, Hendler, Lieberman and Wahlster (eds), Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to its Full Potential. MIT Press, 2002. [consulta: 20 de marzo de 2007]. Disponible en Web: <[http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontologies-come-of-age-mitpress-\(with-citation\).htm](http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontologies-come-of-age-mitpress-(with-citation).htm)>.

MOODY, D.L.; SHANKS, G.G. *Improving the quality of data models: empirical validation of a quality management framework*. Volume 28, Issue 6 (September 2003) Pages: 619 – 650. Elsevier Science Ltd., 2003. ISSN:0306-4379.

MOSTOWFI, F.;y FOTOUHI, F. *Improving Quality of Ontology: An Ontology Transformation Approach*. Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW'06), 2006 [consulta: 20 de marzo de 2007]. Disponible en Web: <<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/10810/34089/01623856.pdf>>.

SHETH, Amit P. *Changing focus on interoperability in information systems: From system, syntax, structure to semantics*. Interoperating Geographic Information Systems.



M. F. Goodchild, M. J. Egenhofer, R. Fegeas and C. A. Kottman (eds). Kluwer, 1998 [consulta: 20 de marzo de 2007]. Disponible en Web: <<http://lsdis.cs.uga.edu/library/download/S98-changing.pdf>>.

SOARES, Andrey; FONSECA, Frederico. *Ontology-Driven Information Systems: At Development Time*. International Journal of Computers, Systems and Signals, Vol.8, No2, 2007 [consulta: 20 de marzo de 2007]. Disponible en Web: <<http://www.fullcycles.org/iaamsad/ijcss/Journals/Vol8No2/IJCSS%202007%202-7.pdf>>.

TARTIR, S.; ARPINAR B.; SHETH, A. *Ontological Evaluation and Validation*. 2007 [consulta: 20 de marzo de 2007]. Disponible en Web: <http://knoesis.wright.edu/library/download/tart_bud_sheth07.pdf>.

TARTIR, S.; ARPINAR B.; SHETH, A.; ALEMAN-MEZA, B. *OntoQA: Metric-Based Ontology Quality Analysis*. Proceedings of IEEE ICDM 2005 KADASH Workshop [consulta: 20 de marzo de 2007]. Disponible en Web: <<http://www.cs.uga.edu/~tartir/pubs/OntoQA.pdf>>.

WHITMIRE, S. *Object-Oriented Measurement*, Wiley, 1997.

YILDIZ, Burcu and MIKSCH, Silvia. *Ontology-Driven Information Systems: Challenges and Requirements*. 2007 [consulta: 28 de noviembre de 2008]. Disponible en Web: <http://www.donauni.ac.at/imperia/md/content/departament/ike/ike_publications/2007/refereedconferenceandworkshoparticles/yildiz_2007_icsd_ontology_requiremen.pdf>.