

Dimensiones e indicadores de la calidad de una ontología

Dimensions and indicators of the ontology quality

Graciela E. Barchini, MSc. y Margarita M. Álvarez, MSc.
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina
{grael, alvarez}@unse.edu.ar

Recibido para revisión 28 de febrero de 2009, aceptado 10 de febrero de 2010, versión final 9 de marzo de 2010

Resumen—Mientras la ontología sigue siendo un área fecunda de investigación en el campo de la filosofía, las ontologías son actualmente materia de investigación, desarrollo, y aplicación en disciplinas relacionadas con la computación, la información y el conocimiento.

Durante el proceso de validación y evaluación no se disponen de herramientas formalizadas que permitan determinar si la ontología construida 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, en este artículo presentamos una síntesis del resultado de operacionalizar la variable "calidad de una ontología".

Para ello, se proponen cuatro dimensiones y, en algunos casos, los indicadores que permitirían evaluar empíricamente la calidad de una ontología. Las principales contribuciones de este trabajo son la definición de la calidad de una ontología y la propuesta de un marco de referencia para evaluar la calidad de la misma 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.

Palabras Clave—Ontologías, Calidad de una Ontología, Dimensiones, Indicadores, Reutilización.

Abstract—While ontology is still a fertile area of research in the field of Philosophy, Ontologies currently stands for research, development, and application fields in disciplines related with computing, information and knowledge.

During the validation and evaluation process, there are no formal

tools that allow determining if the built ontology 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, this paper presents a synthesis of the "ontology quality" variable operationalization.

For that, we propose four dimensions and, in some cases, the indicators that should be used to evaluate the ontology quality empirically. The main goals of this work are: the ontology 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.

Keywords—Ontology, Ontology Quality, Dimensions, Indicators, Reuse.

I. INTRODUCCIÓN

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.

Aunque el término ontología es el mismo, a menudo se usa con diferentes significados [20] y con diferentes roles en el diseño y desarrollo de sistemas de información/conocimiento [2].

Las ontologías se están usando fructíferamente en distintas áreas de la informática, esto se debe a que el uso de las ontologías

proporciona una serie de beneficios, entre otros:

- Permiten representar, intercambiar y compartir el conocimiento utilizando un vocabulario común, ya sea entre personas o entre agentes software.
- Brindan un protocolo específico de comunicación.
- Permiten la reutilización del conocimiento sobre un dominio determinado.
- Facilitan la recuperación, integración e interoperabilidad entre fuentes de conocimiento heterogéneas.
- Proveen una base para la representación del conocimiento del dominio y ayudan a identificar las categorías semánticas del dominio.

Sin embargo, a menudo se presentan situaciones problemáticas, tales como:

1. Durante el proceso de validación y evaluación de ontologías no se disponen de herramientas formalizadas que permitan determinar si la ontología construida cumple los requerimientos especificados y las necesidades o expectativas del cliente o usuario.
2. En el análisis de reusabilidad de ontologías, se necesita que los usuarios finales dispongan de herramientas que les permitan seleccionar la mejor ontología entre un conjunto de ontologías candidatas a ser reusadas. En este proceso se han identificado los siguientes problemas específicos [18,25]:
 - Heterogeneidad de los formalismos de representación del conocimiento: cada sistema tiene su propio formalismo de representación (reglas, frames, etc.) y sus mecanismos de inferencia. Aunque el formalismo de representación coincida, cada uno de los sistemas puede estar implementado en un lenguaje diferente o utilizando una herramienta distinta.
 - Problemas semánticos: estos últimos se producen cuando se utiliza el mismo término pero con significados distintos. Adicionalmente, pueden aparecer sinónimos, es decir, diferentes términos para referirse al mismo concepto.
 - Suposiciones ocultas: hay cierto conocimiento que se considera implícito, rutinario o asociado al sentido común y no se lo incluye en la ontología. Estas suposiciones suponen una gran barrera para la reutilización.
3. Las ontologías cambian durante el tiempo debido a tres causas según lo propuesto en [22]: cambios en el dominio, cambios en la conceptualización y cambios en la especificación explícita.

Sobre la base de lo expuesto precedentemente, se necesita disponer de mecanismos que permitan determinar la calidad de

una ontología, ya sea en el proceso de construcción o en el reuso de la misma.

Al referirse a la calidad del software, la ISO expresa:

- "La calidad es el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades explícitas o implícitas". [15]
- "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". [16]

Con respecto a la calidad de una ontología, ésta ha sido abordada por diversos autores en estos últimos tiempos. En base a la investigación exploratoria y descriptiva realizada en el marco del proyecto de investigación denominado "Herramientas Conceptuales, Metodológicas y Técnicas de la Informática Teórica y Aplicada"¹ y, considerando diversas propuestas [6, 8, 9, 11, 14, 17, 18, 21, 23, 25, 26, 29], en este artículo presentamos una síntesis del resultado de operacionalizar la variable "calidad de una ontología". Para ello, se proponen cuatro dimensiones y, en algunos casos, los indicadores que permitirían evaluar empíricamente la calidad de una ontología.

De esta manera se ofrece un marco de referencia para evaluar la calidad de una ontología que permitiría al evaluador obtener un valor de calidad global para tomar decisiones adecuadas con respecto al diseño, uso y/o reuso de una ontología específica.

II. ONTOLOGÍA

A. Definiciones y conceptos

Una de las definiciones más extendidas y aceptadas del concepto de ontología es la de Gruber [13], donde se la define como una especificación explícita de una conceptualización. Similarmente, Borst [3] define una ontología como una especificación formal de una conceptualización compartida. Los términos claves son:

- Conceptualización significa modelo abstracto de un fenómeno que por lo general, se expresa como un conjunto de conceptos (entidades, atributos, procesos), sus definiciones e interrelaciones;
- formal implica una organización teórica de términos y relaciones usados como herramienta para el análisis de los conceptos de un dominio;

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).

- compartida significa que captura un conocimiento consensual que es aceptado por una comunidad; y, por último,
- explícita se refiere a la especificación de los conceptos y a **las restricciones sobre éstos [24]**.

Uschold y Grüninger [27] definen ontología como una comprensión compartida de algún dominio de interés. Una definición más amplia e informal es la que define ontología como un vocabulario de términos y alguna especificación de su significado.

B. Componentes de una ontología

Desde un punto de vista de ingeniería una ontología es un artefacto que está constituido por un vocabulario específico utilizado para describir una cierta realidad, además de un conjunto de suposiciones que tienen en cuenta el significado del vocabulario. [14]

De esta manera los componentes de una ontología son una jerarquía de clases con atributos y relaciones (pero sin métodos), una red semántica (como un conjunto de instancias interrelacionadas), una lógica, un conjunto de axiomas (por ejemplo reglas) sobre las clases y/o instancias, y una serie de mecanismos de inferencia. [10]

Se presentan a continuación los componentes de las ontologías que se describen en [13, 18, 19].

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 ser dividida 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 características funcionales.

Relaciones: representan la interacción y enlace entre los conceptos del dominio. Suelen formar la taxonomía del dominio. Algunas de las relaciones más utilizadas son: "sub-clase-de", "parte-de" o "conectada-a".

Propiedades: describen las características o atributos de los conceptos o clases. Pueden adoptar diferentes tipos de valores. Las especificaciones, rangos y 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.

III. CALIDAD DE UNA ONTOLOGÍA. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El análisis de la calidad de una ontología ha sido abordado por algunos autores en estos últimos años. Los antecedentes más significativos son los siguientes:

- Tartir et al., realizan el análisis de la calidad de una ontología basada en métricas. A partir del análisis de los esquemas de la ontología y sus bases de conocimiento, describen un conjunto bien definido de métricas. [26]
- En OntoClean [14] se sigue un enfoque basado en características para la evaluación y la validación de una ontología. Se consideran cuatro características (rigidez, identidad, unidad, y dependencia) para identificar áreas problemáticas que necesitan reexaminarse.
- Alani [1] presenta una técnica para evaluar una ontología a partir de la medición de cuatro valores: igualdad de clase, densidad, similitud semántica, y relaciones.
- Corcho et al. [5] introduce la herramienta ODEval que puede ser usada para la detección automática de problemas de sintaxis en ontologías, tales como la existencia de ciclos en el árbol de herencia de las clases de la ontología, inconsistencia, incompletitud y redundancia de clases e instancias.
- Cross y Pal han desarrollado un plug-in para el editor de ontologías del Protégé. Este plug-in analiza la calidad de una ontología calculando una variedad de métricas. Consideran que las métricas están divididas en dos categorías: las métricas intencionales y las métricas extensionales. Las primeras se calculan a partir de la propia definición de la ontología. Las segundas determinan las ocurrencias reales de los conceptos ontológicos y cómo efectivamente se usa la ontología para incluir conocimiento del dominio. [6]
- Mostowfi and Fatouhi [21] definen ocho características para medir la calidad de las ontologías y, a partir de ellas, se definen un conjunto de transformaciones para mejorar la calidad de las ontologías.

- En OntoMetric se describen 160 características reunidas en 5 dimensiones: contenido de la ontología, lenguaje, metodología del desarrollo, herramientas constructivas y costos del uso. [18]
- En oQual [9] se evalúan las ontologías en tres dimensiones. En la dimensión estructural se detallan 32 características para estudiar la sintaxis y la semántica de la ontología. En la funcional se usa un conjunto de cinco medidas de calidad para estudiar las relaciones entre la ontología y sus significados intencionales. En la dimensión referida a "perfiles de usabilidad" se focaliza el contexto de comunicación de una ontología.
- Gómez-Pérez [11] realiza una distinción entre dos dimensiones de evaluación: la evaluación del contexto y la evaluación de la tecnología de ontología. El objetivo de la evaluación del contexto es descubrir inconsistencias o redundancias en la ontología, su aplicación se debe llevar a cabo durante todo el ciclo de vida de la ontología y las funciones propuestas soportan la evaluación de conceptos, taxonomía, propiedades, relaciones y axiomas. En la otra dimensión: evaluación de la tecnología, se evalúa las herramientas de desarrollo de ontologías.

En síntesis, el tema de evaluación de la calidad de una ontología no ha sido lo suficientemente abordado. Se detectan las siguientes falencias:

- No existe una definición precisa, explícita y consensuada de la "calidad de una ontología".
- No se percibe uniformidad de criterios con respecto a cuáles son los atributos de la calidad de una ontología y cómo debe procederse para determinar su valor. En muchos casos no se explicita quiénes son los encargados de evaluar las ontologías: desarrolladores de la ontología, expertos del dominio o usuarios finales.
- El énfasis en el abordaje de la calidad de una ontología reside, casi exclusivamente, en el análisis de sus componentes estructurales (clases, relaciones, propiedades, etc.).

IV. OPERACIONALIZACIÓN DE LA CALIDAD DE UNA ONTOLOGÍA

4.1. Sobre la operacionalización de variables

Muchas veces, las variables se definen conceptualmente de acuerdo al marco teórico. A menudo, es preciso formular una definición operacional, para disponer de conceptos empíricos que representen a los teóricos. Para ello se recurre a los indicadores. Es decir, las variables requieren ser cuantificadas para poder operar sobre una realidad concreta. La cuantificación posibilita un mejor control y manipulación de las variables.

El proceso de operacionalización consiste en definir las variables teóricas en términos de variables empíricas llamadas 'indicadores', cuya elección dependerá del marco teórico y de sus posibilidades concretas de medición. El proceso lógico de operacionalización requiere tres pasos [12]:

- a. Definición conceptual de la variable.
- b. Definición real: enumeración de las dimensiones, que representan cada uno de los distintos aspectos de una variable (que normalmente son otras variables). Las dimensiones, se utilizan cuando las variables analizadas no son simples y no puede llevarse al plano empírico con un solo indicador. Entonces hay que intercalar entre la variable y su indicador, una dimensión.
- c. Definición operacional: enumeración de los indicadores seleccionados. Un indicador de una variable es otra variable que traduce la primera al plano empírico. Un indicador es un subvariable que se desprende con el propósito de medirla.

Es decir, cada una de las variables 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.

Los indicadores pueden medirse mediante operaciones (índices) 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.).

4.2. Operacionalización de la variable "Calidad de una ontología"

Basadas en [6, 8, 9, 11, 14, 17, 18, 21, 23, 25, 26, 29] y como resultado de nuestra investigación, se proponen 4 (cuatro) dimensiones que permiten definir de una manera operativa de la calidad de una ontología. Estas dimensiones son:

- Descriptiva: Grado en que la ontología brinda información sobre sus características intrínsecas e identificatorias. Responde a la pregunta ¿Quién es? Principales destinatarios: desarrolladores de la ontología, expertos del dominio y usuarios finales.
- Estructural. Grado en que la ontología especifica explícita, formal y de manera consensuada los conceptos (entidades, atributos, procesos), definiciones, interrelaciones y restricciones del dominio. Corresponde a la sintaxis y semántica formal de la ontología. Esta dimensión es la que ofrece información específica sobre su identidad, carácter distintivo y grado de formalidad, refleja la estructura invariante del dominio. Responde a la pregunta ¿Qué conocimiento del dominio contiene? Principales destinatarios: desarrolladores de la ontología y expertos del dominio.
- Funcional: Capacidad de la ontología para proporcionar funciones que satisfagan las necesidades especificadas. Esta dimensión es la que permite determinar el grado de

concordancia con los requisitos y cuestiones competentes para las que fue diseñada. Responde a la pregunta ¿Hace lo que el usuario final pretende? Principales destinatarios: usuarios finales.

- Operacional: Capacidad de la ontología para usarse, comunicarse, interactuar e integrarse entre agentes software y/o personas. Esta dimensión refleja la capacidad de uso y reuso que ofrece la ontología. Responde a la pregunta ¿Puede ser usada / reusada convenientemente? Principales destinatarios: desarrolladores de la ontología y usuarios finales.

La definición de la calidad de una ontología es:

"La calidad de una ontología es el grado con el que la misma puede ser localizada y recuperada, responde a la estructura invariante del dominio, con un mínimo compromiso ontológico,

cumple con los requerimientos especificados y puede usarse / reusarse de manera efectiva".

Esta definición contempla las cuatro dimensiones: La "ontología puede ser localizada y recuperada" (dimensión descriptiva), "responde a la estructura invariante del dominio, con un mínimo compromiso ontológico", (dimensión estructural), "cumple con los requerimientos especificados" (dimensión funcional) y "puede usarse/reusarse de manera efectiva" (dimensión operacional).

Para cada dimensión, se formulan las subdimensiones y los indicadores respectivos que permitirán evaluar la calidad de una ontología en un contexto específico. En las tablas 1, 2, 3 y 4 se incluyen las subdimensiones para las dimensiones descriptiva, estructural, funcional y operacional, respectivamente.

Tabla 1. Subdimensiones e indicadores de la dimensión descriptiva

SUBDIMENSIONES	DESCRIPCIÓN	INDICADORES
DATOS IDENTIFICATORIOS	Grado en que la ontología puede ser identificada y recuperada	<ul style="list-style-type: none"> Título/Nombre Autores/Desarrollador Organización Tipo de acceso (libre o no) Requisitos Técnicos Documentación (fuentes de conocimiento, URL de servidor, Estado del desarrollo, Ontología incluidas/Reuso, Fecha de publicación/modificación, Antecedentes de uso).
TIPO	Nivel de generalidad o de dependencia con respecto a una tarea o dominio particular.	Declaración explícita del tipo de ontología: Ontologías de alto nivel (genéricas), Ontologías de Dominio, Ontologías de Tarea, Ontologías de aplicación
TAMAÑO	Información sobre la cantidad de componentes	Número total de clases, instancias, propiedades, relaciones.
ÁMBITO, PROPÓSITO Y CONTEXTO DE USO	Restricción del ámbito	Declaración explícita del ámbito y sus restricciones
	Tipo de problema que resuelven	Declaración explícita del tipo de problema que resuelven
	Uso de la ontología	<ul style="list-style-type: none"> Autoría neutral: reutilización del conocimiento Especificación: especificación y desarrollo de algún tipo de aplicación Acceso a la información: facilita el acceso a la información a varias personas / agentes / aplicaciones Basada en búsquedas: facilita la búsqueda de información en repositorios.
GRADO DE FORMALIDAD	Nivel de formalidad que se utiliza para expresar la ontología.	<ul style="list-style-type: none"> Altamente informal: expresada "flojamente" 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.
HERRAMIENTAS DE DESARROLLO	Descripción explícita de metodologías, estrategia de diseño, tipos de formalismos lenguajes y entornos de desarrollo de la ontología.	Metodología
		Estrategia de diseño: Top-down, Bottom-up, Combinado.
		Descripción del formalismo utilizado: Marcos, Lógica de primer orden, Grafos conceptuales, Enlaces, etc
		Lenguaje

Para la inclusión de las subdimensiones de la dimensión estructural se han considerado, principalmente, las propuestas de [5, 6, 9, 14, 26].

Tabla 2. Subdimensiones de la dimensión estructural

SUBDIMENSIONES ¹	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	DESCRIPCIÓN
CLASES ² / INSTANCIAS	<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 verifica si se cumplen los siguientes principios:</p> <p>Distinción ontológica³: las clases de una ontología deben ser disjuntas; es decir, dos clases no pueden tener una instancia en común.</p> <p>De identidad: el conjunto de propiedades que se consideran invariantes en una instancia de una clase deben estar aisladas⁴.</p> <p>Principio de minimización⁵: se debe reducir la "distancia" semántica entre conceptos semejantes.</p>	Homogeneidad	Grado en que la ontología no presenta redundancia y si todas las instancias de una clase tienen el mismo conjunto de propiedades.
		Diversificación	Grado en que la ontología presenta jerarquías diversas, que permitan aumentar la potencia de los mecanismos de herencia múltiple.
		Coherencia	Grado en que las clases de la ontología están organizadas y conectadas formando una estructura lógica.
		Complejidad	Se determina si el número total de clases es el adecuado, si los conceptos esenciales están presentes en la ontología y si las definiciones se expresan en términos necesarios y suficientes. En general, se asume que a mayor cantidad de atributos más conocimiento cubre la ontología. La completitud se determina en función de las siguientes métricas: riqueza de clases, riqueza de atributos y riqueza de la herencia [26].
		Explicitud	Grado en que las definiciones de los conceptos/clases se expresan de manera clara, objetiva e independiente del contexto social o computacional.
		Mínimo compromiso ontológico ⁶	Existencia de la menor cantidad posible de suposiciones acerca del mundo modelado.
RELACIONES Y PROPIEDADES	<p>Grado en que las relaciones permiten mostrar las conexiones de las clases y describen las características de las clases.</p>	Complejidad	Grado en que la ontología posee un número total de relaciones y propiedades adecuado. La completitud se determina en función de las siguientes métricas: riqueza de relaciones y de atributos [26].
		Coherencia	Se analiza si las relaciones son lógicas, consistentes (no contradictorias) y adecuadas al dominio.
		Claridad	Se determina si las relaciones son no ambiguas.
AXIOMAS	<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>	Consistencia	Se determina si el axioma no permite deducir simultáneamente una proposición y su contraria.
		Independencia	Se analiza si ninguno de los axiomas puede ser deducido o demostrado a partir de los demás.
		Complejidad	Se analiza si el número de axiomas permite inferir todos los conocimientos que no estén explícitos en la taxonomía.

2. Para la mayoría de estas subdimensiones se han desarrollado métricas específicas, por ejemplo en [26].

3. Esta subdimensión se basa en la taxonomía y en los principios de la orientación a objetos.

4. Generalmente este control lo realizan los editores de ontologías.

5. Se asume el principio de Quine: "no hay entidad sin identidad".

6. En la comprobación de este principio juega un rol preponderante el experto del dominio.

7. El compromiso ontológico representa los acuerdos para usar el vocabulario compartido de una manera coherente y consistente. Es conveniente usar un vocabulario lo más universal posible.

Tabla 3. Subdimensiones de la dimensión funcional

SUBDIMENSIONES	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	DESCRIPCIÓN
EFICACIA	Grado en que la ontología se ajusta a los requisitos o necesidades de los usuarios finales.	Corrección	Grado en que la ontología realiza lo que el usuario pretende, responde a las cuestiones competentes.
		Exactitud	Grado de precisión para inferir los conocimientos.
		Robustez	Grado en que la ontología maneja elegantemente entradas inválidas.
		Compleitud	Grado en que la ontología ha implementado todo el conocimiento del dominio.
CLARIDAD Y OBJETIVIDAD	Grado en que la ontología 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.	Objetividad	Grado de consenso de los términos empleados en la ontología.
		Entendibilidad	Se analiza si los términos usados están escritos en lenguaje natural y si son comprensibles.
COMPORTAMIENTO SISTÉMICO	Grado en que la ontología es capaz de reaccionar con flexibilidad a las exigencias cambiantes del dominio.	Extensibilidad	Grado en que la ontología es susceptible de extender su dominio.
		Flexibilidad	Grado en que la ontología es susceptible de poder modificarse.

Para la inclusión de las subdimensiones de la dimensión operacional (tabla 4) se han considerado las propuestas de [4,7, 18].

Las cuatro dimensiones están íntimamente relacionadas. En este trabajo no se detallan las relaciones entre dimensiones, subdimensiones y operadores. Por ejemplo:

- La subdimensión "tamaño" (correspondiente a la dimensión descriptiva) está relacionada con la subdimensión "compleitud" (correspondiente a la dimensión estructural).
- La subdimensión "reusabilidad" (dimensión operacional) se relaciona con la mayoría de las subdimensiones de la dimensión descriptiva.
- El indicador "documentación" (dimensión descriptiva) es esencial para el análisis de la usabilidad / reusabilidad, ambos

subdimensiones de la dimensión operacional.

A modo ilustrativo se ofrece un ejemplo de la operacionalización concreta del indicador "extensibilidad" (tabla 5). Éste es uno de los indicadores que permite medir la subdimensión Comportamiento Sistemico de la dimensión Funcional, descrita en la tabla 3. La tabla 5 consta de cuatro columnas, la primera identifica la variable por su nombre, la segunda nos dice ¿qué es? cómo se define conceptualmente, la tercera columna no da la respuesta a la pregunta ¿cómo se observa esta variable? y contiene los índices de la misma. La cuarta columna nos 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 4. Subdimensiones e indicadores de la dimensión operacional

SUBDIMENSIÓN	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	DESCRIPCIÓN
EFICIENCIA	Grado en que la ontología provee un desempeño adecuado, de acuerdo a la cantidad de recursos utilizados (humanos, materiales, tecnológicos, temporales) y las condiciones de uso planteadas.	Tiempo de respuesta	Grado en que la ontología proporciona respuestas a consultas y realiza las inferencias en un tiempo adecuado.
		Utilización de recursos	Grado en que la ontología utiliza cantidades y tipos adecuados de recursos
INTEROPERABILIDAD	Grado en que la ontología permite acceder y compartir (inferir, relacionar, interpretar y clasificar) conocimiento a otros agentes software (aunque estén desarrollados en distintas plataformas).	Interoperabilidad sintáctica ¹	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.
USABILIDAD	Capacidad de la ontología de ser comprendida, aprendida, usada y ser atractiva para el usuario, en condiciones específicas de uso ²	Facilidad de Aprendizaje	Facilidad con la que nuevos usuarios desarrollan una interacción efectiva con la ontología.
		Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> – Variedad de posibilidades con las que el usuario y la ontología pueden intercambiar información. – Capacidad de ser usada como herramienta en la adquisición de información / conocimiento.
		Amigabilidad	<ul style="list-style-type: none"> – Simplicidad de las consultas para acceder a la ontología y a sus instancias. – Consideración de aspectos ergonómicos (existencia de retroalimentación y existencia de ayudas al usuario) – Disponibilidad de documentación
REUSABILIDAD	Capacidad de la ontología de ser utilizada en la construcción de diferentes aplicaciones.	Código abierto	Existencia o ausencia
		Documentación	Disponibilidad de documentación
		Flexibilidad	Susceptible de cambios o variaciones según las circunstancias o necesidades del dominio
		Generalidad	Capacidad de ser usada en distintas aplicaciones y desde distintos enfoques

8. Los editores de ontologías (tales como, Protégé, Webonto) favorecen la interoperabilidad sintáctica.

9. Definición adaptada de la ofrecida por ISO/IEC 9126

Tabla 5. Operacionalización del indicador "Extensibilidad"

Indicador	Definición conceptual ¿Qué es?	Definición instrumental ¿Cómo se observa esta variable?	Definición operacional ¿Cómo se mide?
EXTENSIBILIDAD	Grado en que la ontología es susceptible de extender su dominio.	<p>La variable se observa con tres índices: tiempo de realización, grado de dificultad e impacto en otras funciones.</p> <p>A) Tiempo de realización</p> <ol style="list-style-type: none"> Se determina el tipo de cambio: Correctivo, Adaptación, Mejora, Ampliación, Modificación u Otro. Para ese tipo de cambio se establece el <i>tiempo estimado</i>: horas hombre estimada (HHE), horas computadora estimada (HCE). Se obtiene el <i>tiempo de realización</i> en la implementación de los cambios: horas hombre real (HHR), horas computadora real (HCR). Se comparan ambos tiempos (estimados y reales). En virtud de este resultado se infiere si el tiempo de realización es <i>alto, medio o bajo</i>. <p>B) Grado de dificultad en implementar el cambio: <i>alto, medio, bajo</i>.</p> <p>C) Impacto en otras funciones de la ontología. Se analiza si los componentes estructurales de la ontología se vieron afectados: <i>Sí /No</i>.</p>	<p>Para determinar la capacidad de la ontología de ser modificable y/o extensible se analizan los valores obtenidos en A) B) y C).</p> <p>Por ejemplo: si el tiempo de realización es <i>bajo</i>, el grado de dificultad es <i>bajo</i> y <i>no</i> hay componentes afectados, se infiere que la ontología es <i>altamente extensible</i>.</p>

V. CONCLUSIONES

En este artículo se ofreció un marco de referencia para determinar la calidad de una ontología.

Al abordar la operacionalización de la variable "calidad de una ontología", usamos un enfoque integral al considerar no sólo sus componentes estructurales (clases, relaciones, propiedades, etc.); tratamos, además, de determinar quiénes son los responsables directos del proceso de evaluación, según la dimensión: desarrolladores de la ontología, expertos del dominio o usuarios finales.

Realizamos una definición de "calidad de una ontología", que contempla las cuatro dimensiones: descriptiva, estructural, funcional y operacional. De esta manera, se presentó una guía, lo más completa posible, para medir la calidad de una ontología, considerando un aporte significativo en el campo de la evaluación de ontologías. A modo ilustrativo se ofreció un ejemplo de la operacionalización concreta del indicador "extensibilidad".

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.

Somos conscientes que el proceso de evaluación 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 una ontología 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 a la construcción y/o reuso de una ontología específica.

REFERENCIAS

- [1] Alani, H., Brewster C. and Shadbolt N. (2006). Ranking Ontologies with AKTiveRank. 5th International Semantic Web Conference.
- [2] Barchini, G.; Álvarez, M. y Herrera, S. (2006). 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, p. 3-18. ISSN online: 1807-1775.
- [3] Borst, W. N. Akkermans, J. and Top, J. (1997). Engineering

- Ontologies. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46: 365-406. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=250548>. Fecha de acceso: Diciembre de 2008.
- [4] Colomb, R. M. (2002). Quality of Ontologies in Interoperating Information Systems. Disponible en: <http://www.loa-cnr.it/Papers/ISIB-CNR-TR-18-02.pdf>. Fecha de acceso: Febrero de 2009.
- [5] Corcho, Ó. Gómez-Pérez, A. González-Cabero, R. and Suárez-Figueroa, M. C. (2004). ODEval: a Tool for Evaluating RDF(S), DAML+OIL, and OWL Concept Taxonomies. 1st IFIP Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations (AIAI 2004). Toulouse, France. pp. 369-382.
- [6] Cross, V. and A. Pal. (2005). Metrics for Ontologies. Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10389/33018/01548577.pdf>. Fecha de acceso: Marzo de 2009.
- [7] Galvan, I. M.L., Barchini, G. E. Palliotto, D.(2005). Los Diez Atributos Blandos de la Calidad del Software. V Workshop de Ingeniería de Software (WIS 2005). Universidad Austral, Valdivia, Chile. Disponible en: http://jcc2005.inf.uach.cl/programa/ProgramaWIS_2005.pdf. Fecha de acceso: Febrero de 2009.
- [8] Gangemi, A. Catenacci, C. Ciaramita, M. Lehmann, J. (2006). A Theoretical Framework For Ontology Evaluation And Validation. Disponible en: http://www.loa-cnr.it/Papers/swap_final_v2.pdf. Fecha de acceso: Septiembre de 2008.
- [9] Gangemi, A., Catenacci, C., Ciaramita, M., J. Lehmann. (2006). Modelling Ontology Evaluation and Validation. In proceedings of the 2006 European Semantic Web Conference. Disponible en: http://www.loa-cnr.it/Papers/ESWC_GangemiEtAl_Final2.pdf. Fecha de acceso: Marzo de 2009.
- [10] García Peñalvo, F.J. (2005). Web Semántica y Ontologías. Disponible en: <http://zarza.usal.es/~fgarcia/doctorado/iuce/WSemantica.pdf>. Fecha de acceso: Marzo de 2009.
- [11] Gómez-Pérez A. (2003): "Ontology Evaluation", in Handbook on Ontologies, S. Staab and R. Studer, eds., Springer-Verlag, pp. 251-274.
- [12] Grajales Guerra, T. (2000). Formulación de Hipótesis. Disponible en: <http://tgrajales.net/investhipot.pdf>. Fecha de acceso: Marzo de 2007.
- [13] Gruber, T. R. (1993). Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing". Disponible en <http://citeseer.ist.psu.edu/gruber93toward.html>. Fecha de acceso: Mayo de 2008.
- [14] Guarino, N. and Welty, C. (1998). Evaluating Ontological Decisions with ONTOCLEAN. Disponible en: <http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26864/>. Fecha de acceso: Febrero de 2009.
- [15] ISO-8402 (1994)-. ISO International Organization for Standardization.; ISO 8402: 1994, Quality management and quality assurance - Vocabulary. ISO, Ginebra. Disponible en: <http://en.kioskea.net/qualite/qualite-introduction.php3>. Fecha de acceso: Febrero de 2009.
- [16] ISO-9000 . ISO 9000: "Quality Management Systems - Basic Principles and Vocabulary". The ISO 9000 standard describes the principles of a quality management system and defines the terminology. Disponible en: <http://en.kioskea.net/qualite/qualite-introduction.php3>. Fecha de acceso: Febrero de 2009.
- [17] Kim, H. M. Fox, M.S. y Gruninger, M. (1995). An Ontology Of Quality For Enterprise Modelling. Disponible en: <http://www.eil.utoronto.ca/enterprise-modelling/papers/Kim-WETICE95.pdf>. Fecha de acceso: febrero de 2009.
- [18] Lozano Tello, A. (2002). Métricas de idoneidad de ontologías. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Departamento de Informática. Escuela Politécnica de Cáceres. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/oaites?codigo=329>. Fecha de acceso: febrero de 2009.
- [19] McGuinness, D. L. Harmelen, F. Van. (2004). OWL Web Ontology Language Overview W3C Recommendation 10 February 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-features/>. Fecha de acceso: abril 2009.
- [20] McGuinness, D.L (2002). 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. Disponible en: [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). Fecha de acceso: Marzo de 2009.
- [21] Mostowfi, F. and Fotouhi, F. (2006). Improving Quality of Ontology: An Ontology Transformation Approach. Proceedings of the 22nd International Conference on Data Engineering Workshops (ICDEW'06).
- [22] Noy N. F., and McGuinness, D. L. (2004). Ontology Evolution: Not the Same as Schema Evolution. Disponible en: <http://coblitz.codeen.org:3125/citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/.pdf>. Fecha de acceso: abril 2009.
- [23] Rao L. and Bryson O. (2007). Towards Defining Dimensions Of Knowledge Systems Quality. Disponible en: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1224776>. Fecha de acceso: febrero de 2009.
- [24] Studer R., Benjamins V. R. and Fensel D. (1998). Knowledge engineering: principles and methods. Pennsylvania: School of Information Sciences and Technology(IST). Pennsylvania State University. Disponible en: <http://www.das.ufsc.br/~gb/pg-ia/KnowledgeEngineering-PrinciplesAndMethods.pdf>. Fecha de acceso: febrero de 2009.
- [25] Tartir, S. Arpinar B. and Sheth A. (2007) .Ontological Evaluation And Validation. Disponible en: http://knoesis.wright.edu/library/download/tart_bud_sheth07.pdf. Fecha de acceso: Marzo de 2009.
- [26] Tartir, S. Arpinar, B. Sheth A. and Aleman-Meza, B. (2005). OntoQA: Metric-Based Ontology Quality Analysis. Proceedings of IEEE ICDM 2005 KADASH Workshop. Disponible en: <http://www.cs.uga.edu/~tartir/pubs/OntoQA.pdf>. Fecha de acceso: Marzo de 2009.
- [27] Uschold, M.; Gruninger M. (1996). Ontologies: principles, methods and applications. Pennsylvania: School of Information Sciences and Technology(IST). Pennsylvania State University. Disponible en: <http://citeseer.nj.nec.com/uschold96ontologie.html>. Fecha de acceso: Marzo de 2009.
- [28] Van Heijst, G. Schereibey R. A.T. Wielinga B. J. (1997). Using explicit ontologies in KBS development. *International Journal of Human-Computer studies* Vol. 47 pp.183 - 292. Disponible en: <http://sunsite.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-18>. Fecha de acceso: febrero de 2009.
- [29] Vrande?ci'c D. and York S. (2007). How to Design Better Ontology Metrics. Disponible en: <http://www.eswc2007.org/pdf/eswc07-vrandecic.pdf>. Fecha de acceso: Marzo de 2009.