Argentine Symposium on Ontologies and their Applications

44 Jornadas Argentinas de Informática

Sociedad Argentina de Informática (SADIO)

Rosario, Argentina

September 2-3, 2015

Preface

This proceedings contents the papers accepted for presentation at SAOA 2015, the 1st Argentine Symposium on Ontologies and their Applications (Simposio Argentino de Ontologías y sus Aplicaciones), held on August 2-3, 2015 in Rosario, Argentina, at the Universidad Nacional de Rosario - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA-UNR). SAOA 2015 was part of the 44th JAIIO, the 44th Argentine Conference on Informatics, organized by SADIO. JAIIO is organized as a series of thematic symposia including topics such as software engineering, artificial intelligence, technology, agroinformatics, high performance computing, industrial informatics, free software, law, health, information society, and a students contest.

The Argentine Symposium on Ontologies and their Applications aims at providing a meeting point among researchers from different fields as well as professionals from industries having interest on ontologies. SAOA encourages the submission of original contributions ranging from academic research to industrial and business applications having a significant impact as well as lessons learned and best practices in ontology development. This is the first national symposium on the topic of ontologies. We hope it will provide the motivation needed to advance research on this interesting and influential topic.

We are very grateful to the authors for submitting their works, to all the program committee members for doing an excellent job and to all the people involved in the JAIIO organization, represented by Prof. Diego Milone, from Sinc(i) - FICH-UNL/CONICET, Prof. Pablo Granito, from CIFASIS - CONICET/UNR; and Prof. Rosita Wachenchauzer, President of SADIO, for providing the guidance and support along the way.

Our special thanks are also addressed to the invited speakers Prof. Giancarlo Guizzardi and Prof. João Paulo Andrade Almeida.

September, 2015

Horacio Leone
Pablo Fillotrani

Chairs

- Fillotrani, Pablo (LISSI-DCIC-UNS, CIC)
- Leone, Horacio (INGAR-Dpto ISI, CONICET- FRSF UTN)

Program Committee

- Ale, Mariel - CIDISI, Facultad Regional Santa Fe, UTN, (Argentina)
- Ballejos, Luciana - CIDISI, Facultad Regional Santa Fe,UTN, (Argentina)
- Caliusco, María Laura - CIDISI, Facultad Regional Santa Fe,UTN, (Argentina)
- Cecchi, Laura Andrea – Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Informática, (Argentina)
- Cenci, Karina – Universidad Nacional del Sur, (Argentina)
- Chiotti, Omar - INGAR (CONICET/UTN), (Argentina)
- Diaz Pace, Andres, ISISTAN-CONICET, UNICEN University (Argentina)
- Estevez, Elsa - United Nations University - Operating Unit on Policy-driven Electronic Governance (UNU-EGOV)
- Galli, María Rosa - INGAR (CONICET/UTN), (Argentina)
- Gonnet, Silvio - INGAR (CONICET/UTN), (Argentina)
- Gómez, Sergio Alejandro - Universidad Nacional del Sur, (Argentina)
- Guarino, Nicola - ISTC-CNR Laboratory for Applied Ontology, Trento, (Italy)
- Guizzardi, Giancarlo - Universidade Federal do Espíritu Santo (UFES), (Brasil)
- Guizzardi, Renata - Universidade Federal do Espíritu Santo (UFES), (Brasil)
- Gutiérrez, Claudio C. -Computer Science Department, Universidad de Chile (Chile)
- Gutierrez, Milagros - CIDISI, Facultad Regional Santa Fe, UTN, (Argentina)
- Henning, Gabriela - INTEC (CONICET,UNL), (Argentina)
- Keet, C. Maria - University of Cape Town, (Sudáfrica)
- Montejano, Germán - Universidad Nacional de San Luis (Argentina)
- Motz, Regina - Universidad de La República, (Uruguay)
- Olsina, Luis - GIDIS_Web, Grupo de I+D en Ingeniería de Software y Web Facultad de Ingeniería, UNLPam,(Argentina)
- Parente de Oliveira, José María - Departamento de Ciencias de la Computación, Instituto tecnológico Aeronáutico,(Brasil)
- Rico, Mariela - CIDISI, Facultad Regional Santa Fe, UTN, (Argentina)
- Vegetti, Marcela - INGAR (CONICET/UTN), (Argentina)
- Villarreal, Pablo - CIDISI, Facultad Regional Santa Fe, UTN, (Argentina)

Invited Talks

Using UFO as a Reference Ontology in the (Re)Design of Enterprise Modelling Languages

João Paulo Andrade Almeida
Ontology and Conceptual Modeling Group (NEMO), Computer Science Department - Federal University of Espirito Santo (UFES), Vitória, Brazil

Pattern-Based Ontology Engineering

Giancarlo Guizzardi
Ontology and Conceptual Modeling Group (NEMO), Federal University of Espirito Santo (UFES), Vitória, Brazil & Laboratory of Applied Ontology, Institute for Cognitive Science and Technology (ISTC), Italian National Research Council (CNR), Trento, Italy

Using UFO as a Reference Ontology in the (Re)Design of Enterprise Modelling Languages

João Paulo Andrade Almeida

Ontology and Conceptual Modeling Group (NEMO),
Computer Science Department
Federal University of Espirito Santo (UFES), Vitória, Brazil

Abstract. Conceptual modeling has been considered a key activity in enterprise architecture and information systems engineering, and comprises the use of diagrammatic languages for communication, understanding and problem solving regarding a universe of discourse. The effectiveness of a modeling language for the aforementioned tasks is strongly related to the language's domain appropriateness, i.e., to the language's ability to express the relevant characteristics of the domain at hand. A language designer must, therefore, understand the phenomena (or domain) that should be covered by the language and propose symbolic structures that will empower prospective language users to efficiently carry out certain tasks concerning the represented phenomena. This requires the design of a language with some form of correspondence between its constructs and things in the external world, which we call real-world semantics.

Although essential to language design and semantic interoperability tasks, the real-world semantics of conceptual modeling languages for the enterprise is often defined only informally with no rigor or methodological support for the language designer. As a consequence, a number of language issues may arise, including lack of semantic clarity and expressiveness, which ultimately affect the language's ability to serve as a basis for communication, analysis and transformation.

In this tutorial, we will discuss advances in the last decade concerning the application of reference ontologies to address these issues. We will show how well-founded reference ontologies can serve to inform the design and revision of enterprise modeling languages. In order to provide a solid basis for reference ontologies, we will discuss the role of a foundational ontology in this process (the Unified Foundational Ontology, UFO). A number of concrete cases of language revision will be discussed involving ArchiMate and other languages, encompassing different enterprise architectural domains (such as services, capabilities, goals, organizational structure, etc.).

Short Bio. João Paulo Andrade Almeida is associate professor at the Computer Science Department of the Federal University of Espírito Santo, Brazil.

He is a member of the Ontology and Conceptual Modelling Research Group (NEMO) .

He joined the Centre for Telematics and Information Technology at the University of Twente in September 2001, and received his Ph.D. from that university in 2006, with the Ph.D. thesis entitled Model-Driven Design of Distributed Applications. During 2006, he worked as a Scientific Researcher for the Telematica Instituut on the application of model-driven approaches to the design of services and service-oriented architectures. He has participated in the European SPICE IST and MODA-TEL IST projects, in the Dutch Freeband WASP project and in the AMIDST project. Since 2007, he has been working on the application of ontologies in enterprise architecture and enterprise modeling. He has served as principal researcher in a CNPq/FAPES PRONEX project, as well as Dean of the Graduate School in Computer Science at the Federal University of Espírito Santo (2011-2013).

Pattern-Based Ontology Engineering

Giancarlo Guizzardi

Ontology and Conceptual Modeling Group (NEMO),
Federal University of Espirito Santo (UFES), Vitória, Brazil
&
Laboratory of Applied Ontology,
Institute for Cognitive Science and Technology (ISTC),
Italian National Research Council (CNR), Trento, Italy

Abstract. In his ACM Turing Award Lecture entitled "The Humble Programmer", E. W. Dijkstra discusses the sheer complexity one has to deal with when programming large computer systems. His article represented an open call for an acknowledgement of the complexity at hand and for the need of more sophisticated techniques to master this complexity. Dijkstra's advice is timely and even more insightful in our current scenario, in which ***semantic interoperability*** becomes a pervasive force driving and constraining the process of creating information systems in increasingly complex combinations of domains.

More and more, information systems are created either by combining existing autonomously developed subsystem, or are created to eventually serve as components in multiple larger yet-to-be-conceived systems. In this scenario, information systems engineering, in particular, and rational governance, in general, cannot succeed without the support of a particular type of discipline. A discipline devoted to establish well-founded theories, principles, as well as methodological and computational tools for supporting us in the tasks of understanding, elaborating and precisely representing the nature of conceptualizations of reality, as well as in tasks of negotiating and safely establishing the correct relations between different conceptualizations of reality. The discipline to address the aforementioned challenges is the discipline of ***Ontology Engineering***.

In this talk, I would like to address a particular set of complexity management tools for the engineering of ontologies that can properly serve as reference conceptual models for interoperability. This set includes: ***Ontological Patterns***, as methodological mechanisms for encoding basic ontological micro-theories; (ii) ***Ontology Pattern Languages***, as systems of representation that take ontological patterns as higher-granularity modeling primitives, (iii) ***Ontological Anti-Patterns*** as structures that can be used to systematically identify recurrent possible deviations between the set of valid state of affairs admitted by a model and the set of state of affairs actually intended by the stakeholders.

Short Bio. Giancarlo Guizzardi holds a PhD (with the highest distinction) in Computer Science from the University of Twente, in The Netherlands. He is one of the leaders of the Ontology and Conceptual Modeling Group (NEMO) in Brazil. He is also an Associate Researcher at the Laboratory of Applied Ontology (ISTC-CNR), Trento, Italy. Between 2013 and 2015, he was a Visiting Professor at the University of Trento, Italy. He has been doing research in ontology

and conceptual modeling for the past 19 years and has published circa 176 publications in these areas (including 9 award-wining publications). Among the best-known results of his lab, we have the foundational ontology UFO and the conceptual modeling language OntoUML. Over the years, he has contributed to the ontology and conceptual modeling communities in roles such as keynote speaker (e.g., ER), general chair (e.g., FOIS), tutorialist (e.g., CAISE, ER), Program Board Member (e.g., CAISE, ER) and PC Chair (e.g., FOIS, EDOC). Moreover, he is an associate editor of the Applied Ontology journal and has been a member of editorial boards of international journals such as Requirements Engineering and Semantic Web. Furthermore, between 2012 and 2014, he was an elected member of the Executive Council of the International Association of Ontologies and its Applications (IAOA) and currently is a member of its Advisory Board (since 2014). Finally, he has been involved in technology transfer projects in sectors such as Telecommunications, Software Engineering, Digital Advertisement, Product Recommendation, Digital Journalism, Complex Media Management and Energy.

Table of Contents

A network of ontologies for the integration of planning and scheduling activities in batch process industries

Marcela Vegetti [1], Gabriela Henning[2]

[1] INGAR(CONICET/UTN), Avellaneda 3657, Santa Fe 3000, Argentinta

mvegetti@santafe-conicet.gov.ar

[2] INTEC (CONICET,UNL), Ruta Nacional 168, km 461,5, Santa Fe 3000, Argentina

ghenning@intec.unl.edu.ar

Abstract. In the last decades, the integration of informatics applications supporting planning, scheduling and control has been a serious concern of the industrial community. Many standards have been developed to tackle this issue by addressing the exchange of data between the scheduling function and its immediate lower and upper levels in the planning pyramid. However, a more comprehensive approach is required to tackle integration problems, since this matter entails much more than data exchange. So, this article presents an ontological framework that provides the foundations to reach an effective interoperability among the various applications linked to scheduling activities.

1 Introduction

Despite over twenty years of research in batch scheduling, advanced scheduling support systems are not very common in the chemical industry yet. In addition, most of the available commercial systems are not based on the solution methodologies that academia has developed. One of the reasons why academic approaches are not adopted in industry is the fact that decision support tools do not integrate with the enterprise and manufacturing applications because they rely upon quite different knowledge representations. In the last decades, the integration of informatics applications supporting planning, scheduling and control has been a serious concern of the industrial community. The ISA-88 [1] and ISA-95 [2] standards have been developed to tackle this issue by addressing the exchange of data between the scheduling function and its immediate lower and upper levels in the planning pyramid. However, a more comprehensive approach is required to address integration problems, since this matter entails much more than data exchange. In last decade, ontologies have been considered an effective solution to interoperability problems in many domains. Therefore, this article presents an ontological framework that provides the foundations to reach an effective interoperability among the various applications linked to scheduling activities, focusing on one of the ontologies of such framework.

The paper is organized as follows. Section 2 points out some of the problems of dealing with multiple knowledge representations in the scheduling domain. Section 3 introduces the ontological approach that is proposed to address integration problems.

By means of example, Section 4 describes the ontology that was developed to formalize the Resource Task Network (RTN) [3] model, which is one of the components of the ontology network that is proposed in this contribution. The proposed formalization is a definitional extension of the Process Specification Language (PSL) [4]. Finally, section 5 presents some concluding remarks.

2 Different knowledge representations in the scheduling field

Many academic approaches addressing scheduling problems resort to intermediate representations, like the state-task (STN) or resource-task (RTN) networks (See Figs. 1 and 2 of [5]), before developing the mathematical model that indeed solves the problem. However, this representation does not have a direct mapping to the master data that is usually employed in industry. Thus, the human scheduler has to manually create the STN/RTN graphical models from data that is spread in different tables of the enterprise databases.

On the other hand, in the industrial domain, the most important input for the scheduling problem is the ISA-88 master recipe, which provides the set of data that uniquely defines the production requirements of a specific product batch. Recipes are recursive structures containing five components: Header, Formula, Procedure, Equipment requirements and Other Information. See for example Fig. 1, which depicts the master recipes of P1 and P2, which are the final products of the STN shown in Fig. 2 of [5]. Fig. 1 shows that the procedure component of the P1 master recipe is defined in terms of the T2, T1 and T3 operations. The INT3 recipe entity is also shown in Fig. 1 and the ones corresponding to the other intermediates can be found in [6]. An analysis of Fig. 1, the material in [6], along with Figs. 1 and 2 of [5] shows that these recipe representations are quite different and that a direct mapping is not possible. On top of the recipe information, the scheduling problem needs additional input data, such as demands to be fulfilled, plant topology with unit features, etc. This last type of information is not represented neither in the STN/RTN graphs nor in the ISA-88 recipe model. Usually, industry specifies it in the so called physical model proposed by ISA-88, while in academia it is handled in an informal way that is not machine procesable and can lead to misinterpretations.

Having all this input information, a mathematical model is built and then solved. The resulting production schedule needs to be communicated to the adjacent levels in the planning pyramid: (i) to the lower process control layer to materialize batch execution and (ii) to the upper production planning and control (PPC) level for plan management activities. In practice, the results included in the solver output file need to be translated into the control recipe (the one that according to ISA-88 standard is employed by the control system to perform batch execution) and into the operations schedule, an explicit representation of the schedule according to the ISA-95 standard.
As a result, it can be seen that in order to perform scheduling activities and to articulate them within the planning pyramid, several knowledge representations and models need to interplay. For instance, to transform a given master recipe into a control one, the procedure that is conceptualized in Fig. 2 would need to be executed (actually, such an approach was never made explicit by researchers devoted to the industrial scheduling field and it is presented in this contribution). Currently, the translation

from one representation to another is manually done, in the few cases it is indeed carried out. In fact, none of the academic proposals take into account the automatic translation of the solver output file into representations that are useful from an industrial point of view, i.e. control recipes and explicit schedule representations. In addition to the manual translation workload, these heterogeneous data models employ distinct terms to refer to the same concepts. Besides these semantic issues, since the models are not formal, they cannot be interpreted by a computer and can also be ambiguous. Moreover, an analysis of the ISA-88 and ISA-95 standards [7] reveals some overlappings on the information and activities handled by them (e.g. product definition vs. recipe specification; equipment capability vs. physical model), which discloses some collision points. The problems pointed out in the previous paragraphs are some of the difficulties preventing the integration of scheduling activities within the planning pyramid and, more specifically, precluding the adoption of advanced scheduling approaches in industry.

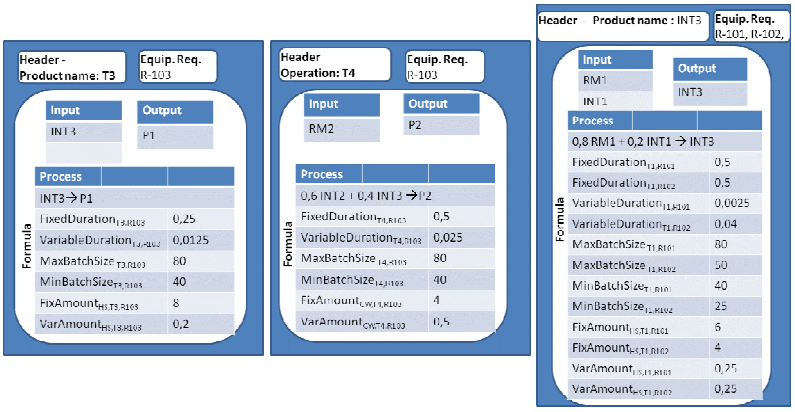


Fig. 1. Recipe entities for products P1, P2 and INT3

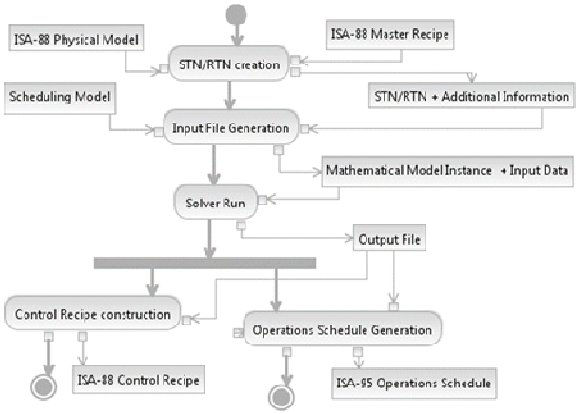


Fig. 2. Data manipulation and model translation associated with scheduling

3 Ontological approach that supports scheduling activities

In order to tackle the problems posed in the previous section an ontological approach is addressed in this contribution. Following the interlingua approach [8], this contribution proposes the construction of a network of ontologies (see Fig. 3) that has the Schedule Reference Ontology (SRO) as a common vocabulary. This network also contains local ontologies that formalize the different sources of information supporting scheduling activities. Specifically, it contains the ontologies of the ISA-88 and ISA-95 standards, the STN/RTN representations, the mathematical programming models (whenever MILP/MINLP-based solution approaches are pursued), etc. The implementation of this ontology network requires the formalization (triangles in Fig. 3), with a previous conceptualization in certain cases (diamonds in Fig.3), of the various information sources. Moreover, the development of ontology alignment agents (circles in Fig. 3), which map concepts of the local ontologies to their definitions in the SRO common vocabulary, is also required. This core ontology plays a central role in the network, acting as a bridge between the different ontologies in the net. The development of the proposed network of ontologies is the starting point for the automatic construction and translation of models that are employed during the scheduling activities, as well as for the correct exchange of information among the scheduling applications and the other manufacturing applications with which they interplay. Some work has been done by the authors in relation to the formalization of ISA-88 standard [7,9]. In this article, the conceptualization and formalization of the RTN is addressed.

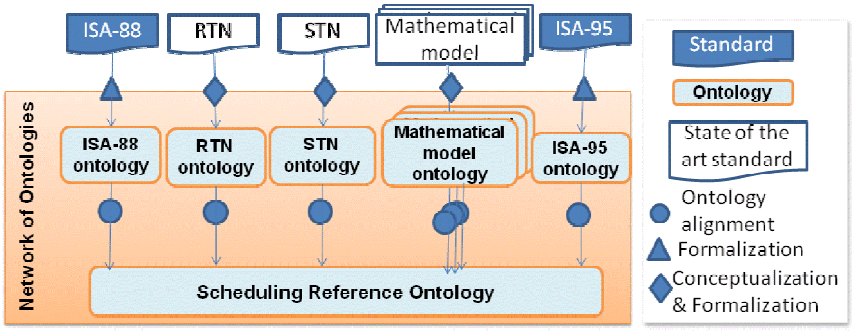


Fig. 3. The proposed network of ontologies

4 RTN conceptualization and formalization

The approach that has been followed to formalize the RTN model is to develop a definitional extension of PSL (Process Specification Language)[4]. The aim of PSL is to create a process specification language to facilitate the complete and correct exchange of process information among manufacturing applications. PSL is structured in two main layers: core theories and definitional extensions. Fig. 4 shows the PSL theories and extensions that are required for the RTN extension proposed in this con-

tribution. The *Core Theory* is the kernel of PSL since it defines its basic concepts, which are *Activity*, *Object* and *Timepoint*. These three concepts are used in almost all theories and/or definitional PSL extensions. The *Outer Core* theory groups the theories related to *Subactivities*, *Occurrence Trees*, *Activity Occurrence*, *Discrete State*, *Atomic* and *Complex Activities.* All of them require the concepts that are defined in the *Core* theory. The *Resource Requirements* theory uses the *Core* and the *Outer Core* theories to define the set of axioms that constrains the definition of the resource requirements of an activity. All these theories become the foundation for the definition of several extensions. In particular, the *Processor Activity* [10] and *Resource Roles* [11] definitional extensions are required for the specification of the RTN extension to be presented in the next two sections.

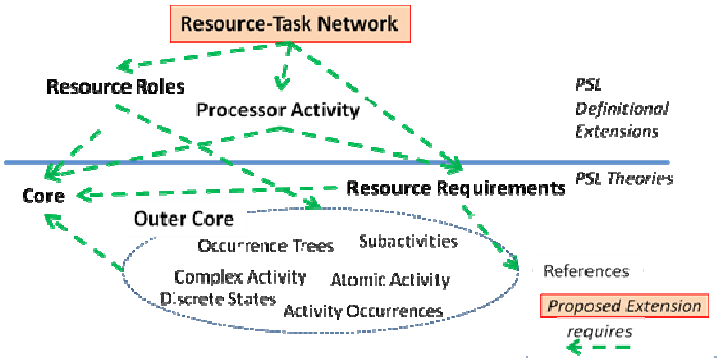


Fig. 4. Parts of PSL that are required by the RTN extension

The RTN model is based on two fundamental concepts: resources and tasks. A task is an operation with a given duration that can consume and generate resources [12]. According to Castro et al. [3], the concept of resource is entirely general and includes all entities that are involved in the process steps, such as materials, processing and storage equipment, personnel, as well as utilities (steam, cooling water, etc.).

The proposed extension specifies the definition of the Task and Resource concepts as well as some axioms that constrain these definitions in the domain of RTN. In this proposal the Common Logic implementation [13] of PSL was chosen and therefore, the proposed extension has been implemented in this language.

4.1 Resource definition

The Resource Roles extension (RRe) [11] axiomatizes the fundamental intuitions about resources. According to this extension an Object is a resource only with respect to the role that it plays in some activity that requires the Object. Therefore, this extension does not axiomatize any other properties of resources [14].

In RTN the concept of resource includes all the entities that are involved in the process steps [3]. In this sense this definition is similar to the resource concept that is specified in PSL. However, in RTN, resources can be specialized in materials (raw materials, intermediate ones, and final products), processing and storage equipment,

manpower and utilities. Therefore, the proposed formalization specifies this taxonomy. The proposed RTN uses the RRe definitions to specify the different resources that are involved in the definition of an RTN model.

Definition 1: Every resource ?r is either a material, a utility, a storage_unit, a processing_unit or personnel.

```
(forall (?r) (iff (resource ?r)
             (or (material ?r)
              (storage_unit ?r)
              (processing_unit ?r)
              (utility ?r)
              (personnel ?r) )))
```

Definition 2: A resource ?m is a material if and only if ?m is an input material or output material of at least one task ?t. Both, input_material and output_material are definitions belonging to Processor Activity extension [10]. This extension states that an object ?m is an input material for an activity ?t if and only if ?t is a processor activity which consumes or modifies ?m. Similarly, an object ?m is an output material for an activity ?t if and only if ?t is a processor activity which produces or modifies ?m.

```
(forall (?m) (iff (material ?m)
  (exists (?t) (and (task ?t) (or
                    (input_material ?m ?t)
                    (output_material ?m ?t))))))
```

Definition 3: A material ?m is a raw material if ?m participates as an input material in at least one task ?t1 and there is no task in which ?m is an output material

```
(forall (?m)(iff (raw_material ?m) (and
    (material ?m)
    (exists (?t1) (and (task ?t1)
                       (input_material ?m ?t1)))
    (not (exists (?t2) (and (task ?t2)
                       (output_material ?m ?t2)))))))
```

Definition 4: A material ?m is an intermediate material if ?m participates both as an input_material in at least one task ?t1 and as an output_material in at least another task ?t2.

```
(forall (?m) (iff (intermediate_material ?m)
(and (material ?m)
     (exists (?t1 ?t2) (and (task ?t1) (task ?2)
                            (input_material ?m ?t1)
                            (output_material ?m ?t2)
                            (<> ?t1 ?t2) )))))
```

Definition 5: A material ?m is a final product if ?m does not participate as input_material in any task and is an output_material in at least one task.

```
(forall (?m) (iff (final_product ?m)
 (and (material ?m)
  (exists (?t1)(task ?t1)(output_material ?m ?t1))
 (not (exists (?t2)(task ?t2)(input_material ?m ?t2))))))
```

Definition 6: A dedicated_storage_unit is a storage_unit that can only store a unique material.

```
(forall (?dsu ?m1 ?m2)
  (iff (dedicated_storage_unit ?dsu)
     (and (material ?m1) (material ?m2)
          (can_store ?dsu ?m1)(can_store ?dsu ?m2)
           (= ?m1 ?m2))))
```

Definition 7: A shared storage unit is a storage_unit that can store different materials

```
(forall (?ssu)
(iff (shared_storage_unit ?ssu) (exists (?m1 ?m2)
  (if (and (can_store ?ssu ?m1)(can_store ?ssu ?m2)
           (<> ?m1 ?m2))))))
```

Definition 8: A processing_unit is a reusable or possible_reusable resource that can perform at least one task.

```
(forall (?pu) (iff (processing_unit ?pu)
 (exist (?t) (and (or (reusable ?pu ?t)
                      (possibly_reusable ?pu ?t))
                (can_perform ?pu ?t)))))
```

The definitions of reusable or possible_reusable resources are stated in RRe [11]. A resource ?r is reusable (possible_reusable) by an activity ?a if any other activity that also requires ?r is still possible to be performed after ?a completes its occurrence, in every (some) possible future.
An example of a reusable resource is a processing unit that does not require set-up/changeover between activities. As soon as one activity occurs, it is always possible to execute the next activity. In contrast, a possibly reusable resource is a processing unit that requires some setup/changeover between different activities. After the first activity occurs, it is available for the other activity, but only if the setup/activity activity occurs first.

Definition 9: A utility is a reusable resource that acts as a service or commodity having a limited capacity

```
(forall (?ut) (iff (?utility ?ut)
        (exists (?t ?q)(and (reusable ?ut ?t)
        (max_capacity ?ut ?q)))))
```

4.2 Task definition

The other main concept of RTN model is task. This section deals with the definition of this important concept and with the specification of a set of axioms that constrains it.

Definitions 10-12: a task is a processor activity that has at least one input_material and at least one output_material, which are consumed and created, respectively, in given quantities.

```
(forall (?t) (iff (task ?t)(exists (?m ?m2 ?q1 ?q2)
        (and  (processor_activity ?t)
              (input_material_demand ?m ?t ?q1)
              (output_material_generation ?m2 ?t ?q2)))))

(forall  (?m ?t ?q1)(iff (input_material_demand ?m ?t ?q1)
    (and (material ?m) (task ?t) (input_material ?m ?t))))

(forall  (?m ?t ?q1)
  (iff (output_material_generation ?m ?t ?q1)
    (and (material ?m) (task ?t)(output_material ?m ?t))))
```

The Processor Activity extension of PSL [10] defines a processor_activity as "an activity which uses some set of resources, consumes or modifies some other set of resources, and produces or modifies a set of objects."

A set of axioms is also developed to represent constraints on the RTN ontology. These axioms make coherent the concepts in the considered engineering field.

Axiom 1: Every task ?t is related to one or more processing units in which a task occurrence can be performed.

```
(forall (?t) (if (task ?t)(exists (?pu)
    (and (processing_unit ?pu)
         (can_perform ?pu ?t)))))
```

Axiom 2: Every task has bounds in the size of the batch that it can handled in each processing unit. These limits are indicated by the parameters min and max batch size. Both parameters should be expressed in the same unit of measure, but due space limits the specification of this constraint, which is indicated by the legal_batch_size expression, is not shown.

```
 (forall (?t) (if (task ?t) (exists (?pu ?maxbs ?minbs)
    (and (processing_unit ?pu) (can_perform ?pu ?t)
         (max_batch_size ?t ?pu ?maxbs)
         (min_batch_size ?t ?pu ?minbs)
         (legal_batch_size ?maxbs ?minbs)))))
```

Axiom 3: The duration of each task ?t depends on the processing unit ?pu in which it will be executed. There are two alternative ways of specifying the task duration. On the one hand, the duration is represented by a unique parameter (?fixd). On the other

hand, two parameters are used: a fixed duration (?fixd) and a variable duration (?vard), which depends on the batch size. When using two parameters for describing the task duration, some constraints are imposed in the unit of measures of both parameters. These constraints are specified in the definition of the legal_duration expression. However, due to the lack of space, this specification is not shown in this article.

```
(forall (?t) (if (task ?t)
   (or (exists (?pu ?fixd)(fixed_durantion ?t ?pu ?fixd))
    (exists (?pu ?fixd ?vard)
      (and (fixed_durantion ?t ?pu ?fixd)
           (variable_duration ?t ?pu ?vard)
           (legal_duration ?fixd ?vard))))))
```

Axiom 4: The utility requirement of a task in a given processing unit is expressed using two parameters: fixed and variable amount. The unit of measure of both parameters should be consistent. This restriction is specified in the definition of legal_amount expression, which is not shown in this article for space reasons.

```
(forall (?t ?ut)
  (if(and (task ?t)(utility ?ut)(require ?t ?ut))
     (exists (?fixa ?vara)
       (and (fixed_amount ?t ?pu ?fixa)
            (variable_amount ?t ?pu ?vara)
            (legal_amount ?fixa ?vara)  ))))
```

Axiom 5: A task occurrence (an activity occurrence) ?tocc has to be executed in a processing unit ?pu that is related to its corresponding task ?t and its size in this specific ?pu has to be between the max and min batch size specified for ?t

```
(forall (?tocc)
  (iff (occurrence_of ?tocc ?t)
    (exist (?t ?pu ?q ?maxbs ?minbs)  (and
        (task ?t)  (processing_unit ?pu)
        (can_perform ?t ?pu) (executed_in ?tocc ?pu)
        (size ?tocc ?pu ?q)
        (max_batch_size ?t ?pu ?maxbs)
        (min_batch_size ?t ?pu ?minbs)
        (and (>= ?q ?minbs)(<= ?q ?maxbs))))))
```

5 Conclusions

Ontologies support interoperability by providing semantic terminology in a computer understandable format. This article proposes the definition of a network of ontologies to solve the interoperability problems associated with the execution of scheduling activities and their interplay with other functions within the Planning pyramid. This ontology network, whose architecture is presented in this contribution, is the starting

point for the automatic construction and translation of models that are employed during the scheduling activities. In addition, one of the ontologies of this network is introduced along with its implementation in common logic as a definitional extension of PSL.

6 Acknowledgments

The authors acknowledge the financial support received from CONICET (PIP 11220110100906 and PIP 11220110101145), ANPCyT (PICT-2013 1310), UNL (PI CAI+D 2011) and UTN (PID 25-O156).

7 References

1. ANSI/ISA–88.00.01: Batch Control Part 1: Models and Terminology, 2010.
2. ANSI/ISA-95.00.01-2000: Enterprise-Control System Integration. Part 1: Models and terminology, 2000.
3. Castro, P.M., Barbosa-Póvoa, A.P., Matos, H.A. (2003). Optimal Periodic Scheduling of Batch Plants Using RTN-Based Discrete and Continuous-Time Formulations: A Case Study Approach, Ind. Eng. Chem. Res., 42, 3346-3360.
4. ISO 18629-1 (2004) Process specification language -- Part 1: Overview and basic principles. ISO/TC 184/SC 4
5. Giménez, D. Henning, G., Marevelias, C. (2009). A novel network-based continuous-time representation for process scheduling: Part I. Main concepts and mathematical formulation. Computers and Chemical Engineering, 33, 1511–1528
6. VH (2014) SRO Data Repository https://sites.google.com/site/sropse2015/Last access: 30th November 2014.
7. Vegetti, M. and Henning, G. (2014). ISA-88 formalization. A step towards its integration with the ISA-95 standard, FOMI 2014 Proceedings, Brasil.
8. Ciocoui, M., Gruninger, M., Nau, D. (2000). Ontologies for integrating Engineering Applications, Journal of Computing and Information Science and Engineering, 1, 12-22.
9. Vegetti, M. and Henning, G. (2015). An ontological approach to integration of planning and scheduling activities in batch process industries, PSE/ESCAPE 2015 Proceedings, Denmark.
10. National Institute of Standards and Technologies (2008). PSL ontology - Processor Activities extension. Available on-line: http://www.mel.nist.gov/psl/psl-ontology/part46/processor.html
11. National Institute of Standards and Technologies (2008). PSL ontology - Resource Roles extension. Available on-line: http://www.mel.nist.gov/psl/psl-ontology/part44/res_role.html
12. Wassick, J.M, Ferrio J. (2011). Extending the resource task network for industrial applications, Computers and Chemical Engineering 35, 2124– 2140
13. ISO/IEC 24707 (2007). Common Logic (CL): a framework for a family of logic-based languages.
14. Schlenoff, C., Gruninger, M., Lee, J., (2000). The Essence of the Process Specification Language. Transaction of the Society for Computer Simulation International, Vol. 16, N4.

Desarrollo de Ontologías para capturar el conocimiento experto en Modelado del Sistema Endocrino de Pacientes Diabéticos

Juan José Bora[1], Maximiliano Benegui[1], Pamela Viale[1,2] y Marta Basualdo[1,2,3]

[1]Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Av. Pellegrini 250, S2000BTP Rosario, Argentina.
[2]Centro Internacional Franco Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas
CONICET - UNR - AMU
Ocampo y Esmeralda, S2000EZP Rosario, Argentina
[3]GIAIP-FRRo-UTN
Zeballos 1341 S2000BTP Rosario, Argentina
borajuanjo@gmail.com
maxibenegui@yahoo.com.ar
viale@cifasis-conicet.gov.ar
basualdo@cifasis-conicet.gov.ar

Abstract. El número de pacientes con Diabetes Mellitus (DM) ha crecido a nivel mundial de manera exponencial a lo largo de los años. Esto justifica el enorme esfuerzo que la comunidad internacional viene realizando para abordar multidisciplinariamente esta enfermedad mediante el desarrollo de tecnologías adecuadas. En este trabajo se presenta una extensión de la ontología denominada OntoCAPE para capturar el conocimiento del modelado de tipo compartimental del sistema endocrino de pacientes diabéticos. El objetivo es además tener una versión preliminar de una plataforma que brinde servicios multidisciplinarios de tipo *e-health.* Expertos de diferentes áreas podrán verter sus conocimientos en medicina, nutrición e ingeniería. Se presenta un detalle de la nueva conceptualización introducida a OntoCAPE, inicialmente desarrollada para su uso en Ingeniería Química y ahora se la extiende para su uso en sistemas biológicos. A su vez se incorporó la integración con el programa MATLAB a fin de poder generar el código en el marco de su herramienta s-function y poder testear información de pacientes específicos en modo dinámico.

Keywords: Diabetes, Sistema Endocrino, ingeniería del conocimiento, ontologías, modelado, OntoCAPE, web ontology language.

1 Introducción. Diabetes Mellitus.

La Diabetes Mellitus es una enfermedad crónica, que en los últimos años se ha convertido en una epidemia. La enfermedad aparece cuando el páncreas no puede producir suficiente insulina (Tipo I) o cuando la misma no presenta las propiedades

necesarias para que resulte eficaz para el organismo (Tipo II). La hormona insulina es la que permite que la glucosa, proveniente de los alimentos ingeridos, se metabolice e ingrese a las células del cuerpo y pueda convertirse en energía necesaria para los músculos y tejidos.

El efecto de la Diabetes no controlada se manifiesta en casos de hiperglucemia y hipoglucemia. La hiperglucemia (aumento de la glucosa en sangre), con el tiempo daña gravemente muchos órganos y sistemas, especialmente el nervioso y los vasos sanguíneos. Por otro lado, la hipoglucemia (disminución de glucosa en la sangre) puede producir la muerte del individuo y por lo tanto requiere mayor atención para evitar episodios de estas características.

Según datos reportados por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la actualidad el 9% de los adultos mayores de 18 años padece diabetes, y sólo en 2012 la enfermedad causó 1.5 millones de muertes. Se prevé que para el año 2030 la diabetes será la séptima causa de muerte **[1]**.

El gasto sanitario mundial para tratar la diabetes y prevenir complicaciones alcanzó al menos 548.000 millones de USD en 2013. Este número representó el 11% del gasto sanitario mundial de ese año. Para 2037, se prevé que este número supere los 592.000 millones de USD **[2]**.

La situación en Argentina, también manifiesta datos alarmantes. En 2010 el Dr. Juan José Gagliardino, miembro del CONICET, señaló que "La prevalencia de esta enfermedad en adultos mayores en nuestro país es del 8,5%; es decir que más de 2.000.000 de argentinos la padecen" **[3]**. Además, remarcó que el tratamiento de un diabético complicado cuesta de 2 a 4 veces más que uno que no lo está. Gagliardino destacó además las ventajas del programa que llevó a cabo, llamado *Program for the Prevention, Care and Treatment of People with Diabetes* (PROPAT). Las ventajas obtenidas del mismo fueron: la disminución en la tasa y en la duración de la hospitalización en personas que sufren de diabetes comparada con las que no lo sufren. Esto trae ventajas económicas ya que la hospitalización representa aproximadamente el 50% del costo total de la atención. Los pacientes con un pobre control glucémico tienen más del doble de internaciones durante un período de tres años, en comparación con aquellos que tienen un buen control de la glucemia.

El tratamiento de la enfermedad Diabetes Mellitus es complejo, riesgoso y demandante en exceso. Para mejorar la calidad de vida del paciente a largo plazo, es necesario que el mismo cuente con la mayor cantidad de información posible acerca de la enfermedad que padece. Al mismo tiempo, es importante también que dicha información se encuentre al alcance de todo el equipo de profesionales que se encuentra involucrado en el tratamiento, como ser: médicos, nutricionistas, diabetólogos, técnicos o personal ingenieril. Por otra parte, es importante también que el paciente pueda reducir el número de intervenciones médicas presenciales, lo cual disminuirá notablemente los costos del tratamiento.

Resulta, entonces, de especial importancia el desarrollo de herramientas computacionales y nuevas bases de conocimiento que podrían integrarse a programas como el PROPAT, con la ventaja de facilitar notablemente el manejo de la información de pacientes diabéticos, mejorar el nivel educativo de los mismos contribuyendo a construir su propio modelo de comportamiento para fortalecer actitudes de propio auto-

control, disminuir la dependencia de los expertos involucrados y llevar adelante una buena parte del programa con una fuerte asistencia de personal técnico capacitado. Así mismo, con el desarrollo de las mencionadas herramientas computacionales del conocimiento, contribuiría al mejor seguimiento del paciente y sería esperable la disminución del número de intervenciones médicas presenciales.

2 Modelo Matemático del Sistema Endocrino Humano. Simulador UVA/Padova [4] [5].

El modelo desarrollado y patentado por las Universidades de Virginia y Padova, llamado *Simulador UVA/Padova*, se presenta en la Fig. 1, describe la relación entre la glucosa en plasma y la concentración de insulina, y flujos de glucosa e insulina en el sistema endocrino. El modelo matemático es factible de ser utilizado para emular el sistema endocrino de un humano saludable, prediabéticos, diabéticos Tipo II y diabéticos Tipo I. Debido a esto es uno de los pocos modelos que fue validado con datos clínicos experimentales, la versión del paciente diabético tipo I fue aprobada por la Administración de Alimentos y Drogas de Estados Unidos, *Food and Drugs Administration* (FDA), como sustituto de las pruebas en animales para testeos pre-clínicos de algoritmos de control.

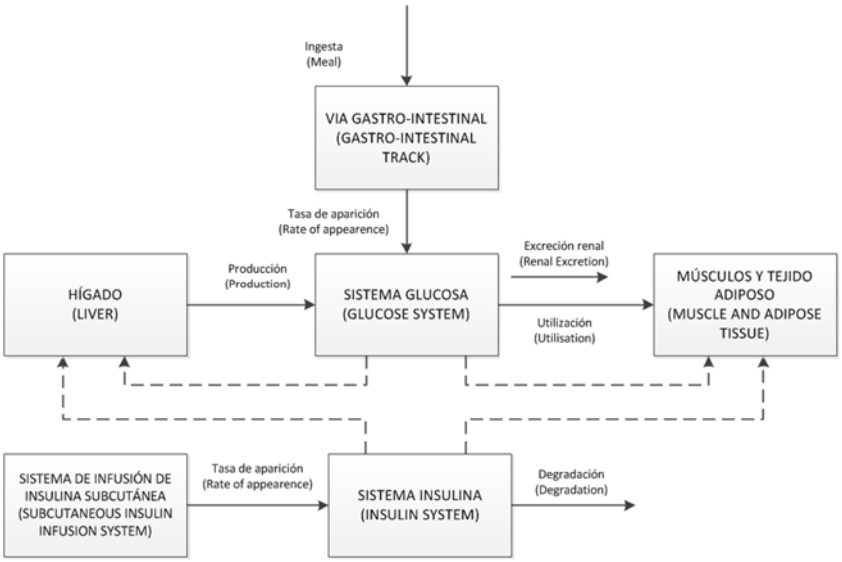


Fig. 1. Esquema del sistema glucosa-insulina del Simulador UVA/Padova. Las líneas continuas representan flujo de masa, y las líneas a trazos representan flujo de señales [5].

Vale mencionar que el modelo completo cuenta con una base de datos de 300 sujetos diabéticos tipo I (100 adultos, 100 adolescentes y 100 niños) pero sólo está disponible para los miembros de la Juvenile Diabetes Research Foundation (JDRF) Artifi-

cal Pancreas Consortium. Este modelo permitió simular el efecto dinámico de la glucosa exógena y de la dosis de insulina bajo diferentes pruebas.En la Fig. 1 se presenta el modelo correspondiente a un paciente diabético, donde se tiene en cuenta la infusión de insulina sub-cutánea.

El modelo matemático de tipo compartimental consta de un sistema de ecuaciones diferenciales, las cuales describen la dinámica de los Sub-Sistemas de Ingesta, Glucosa, Insulina y Espacio Subcutáneo del Sistema Endocrino Humano.

El Simulador UVA/Padova ha sido implementado íntegramente en la plataforma MatLab/Simulink [6], mediante la utilización de una S-FUNCTION [6] de MatLab.

3 OntoCAPE [7]

OntoCAPE es una ontología de gran alcance para el dominio de la ingeniería de procesos asistida por computadora. Su nombre tiene el siguiente significado: 'Onto', hace referencia a que se trata de una ontología y 'CAPE' es la sigla en inglés de *Computer-Aided Process Engineering*[1]. Ha sido desarrollada en la *RWTH Aachen University* en Alemania **[7]**. OntoCAPE, a su vez, es accesible bajo la licencia GNU y tanto su representación formal como informal puedan ser libremente descargadas desde la Web **[8]**. Por último, cabe aclarar que OntoCAPE se encuentra implementada en lenguaje de ontologías OWL (*Web Ontology Language*) **[9]**, y se optó por conservar esta concepción si bien a futuro se podría evaluar otro lenguaje, como OWL2, por ejemplo.

OntoCAPE está particionada en 62 sub-ontologías, que pueden ser usadas individualmente o como un producto completo integrado en conjunto. Estas sub-ontologías se organizan en diferentes capas de abstracción, que separan conocimiento general de conocimiento sobre dominios y aplicaciones en particular. Las capas superiores tienen la característica de una ontología superior, cubriendo temas generales, como por ejemplo teoría de sistemas, cantidades o unidades. Las capas inferiores conceptualizan el dominio de ingeniería de procesos químicos, cubriendo temas específicos de dominio como por ejemplo materiales, reacciones químicas o unidades de operación.

OntoCAPE es una ontología pensada para la representación de conocimiento de procesos químicos y de la ingeniería de procesos en general. Resulta de gran utilidad que sus diseñadores hayan tenido en mente la posibilidad de futuras adaptaciones y extensiones de la misma, proponiendo un diseño abierto y flexible. Esto ha imaginar la extensión de OntoCAPE para el modelado de sistemas biológicos, ya que se comportan de manera similar o pueden ser modelados como reacciones químicas. Su representación física, a su vez, puede asimilarse a equipamientos de una planta química.

Si bien OntoCAPE es una ontología desarrollada para la industria química, tiene la ventaja de presentar un conjunto de herramientas conceptuales que permiten modelar el Sistema Endocrino. La representación del mismo junto con la modelización del perfil de ingesta del paciente proveerá información de vital importancia para la multiplataforma *e-health* que se tiene como objetivo a largo plazo. Esta plataforma podrá

[1] Ingeniería de Procesos Asistida por Computadora.

sustentarse en dichos modelos para inferir valiosa información para la toma de decisiones tendientes a mejorar el tratamiento, y la calidad de vida de un paciente con DM.

Podría considerarse a OntoCAPE como una base de conocimientos la cual facilita la carga de datos, parámetros y resultados, asociados entre sí mediante un marco semántico. Esto favorece el entender y el compartir dicha información asegurando que la información llegue de manera adecuada a cada persona o software involucrado. Todos los datos cargados en una ontología y toda la información semántica volcada en ella, ya sea especificada o inferida, puede ser accedida mediante programas externos, desarrollados por expertos en el área de la ingeniería de conocimiento.

4 Representación del Sistema Endocrino Humano en OntoCAPE. Aspectos descriptivos del trabajo realizado [10].

Se entiende que el Sistema Endocrino Humano es un Sistema de Procesos Químicos Biológico, lo cual es considerado un caso particular de un Sistema de Procesos Químicos. Es por ello que se ha escogido OntoCAPE como ontología raíz, para hacer re-utilización de sus definiciones y reglas para encajar el modelado del Sistema Endocrino Humano.

Para la representación del modelado del Sistema Endocrino humano en términos de ontologías, se utiliza el módulo **`chemical_process_system`** de OntoCAPE, accesible como una sub-ontología. Dicho módulo presenta la capacidad de realizar el modelado mereotopológico completo del Sistema Endocrino Humano, en términos del correspondiente al Simulador UVA/Padova. Es decir: con la creación de clases, instancias y propiedades capaces de definir el modelado compartimental correspondiente al simulador UVA/Padova y asociar al mismo semánticamente con su respectivo sistema de ecuaciones diferenciales no-lineales.

El conocimiento volcado en la ontología puede ser atomizado, tanto cuanto se desee. Para el presente caso no solamente se modela la concepción mereotopológica, sino que también se detallan flujos de masas, de señales y el concepto de sub-sistemas y super-sistemas.

Respecto del sistema de ecuaciones diferenciales, cabe la aclaración de que las ecuaciones correspondientes son convenientemente representadas mediante la estructura de datos *binary tree*. Dicha estructura de datos permite asociar un *individual* a una parte izquierda (*left child*) y una parte derecha (*right child*) de una ecuación, unidas por un operando (*root node*). La parte derecha o izquierda puede ser, a su vez, o bien un operando definitivo de la ecuación (denominado 'hoja', en inglés *leaf*), o bien una ecuación subsiguiente (*internal node*). Con la utilización de un programa implementado para tal fin, se extrae la información de las ecuaciones de la ontología, y se las traduce a lenguaje MatLab. Esto permite ser utilizadas en una estructura de diagrama de bloques de este programa, que asocia un sistema a un bloque mediante la utilización de un módulo denominado S-FUNCTION. Por motivos que excede al alcance del presente trabajo, no se aborda aquí dato alguno acerca del programa im-

plementado para la lectura e interpretación de los *binary tree*, y tampoco se dirá nada al respecto de la plataforma de simulación implementada como diagrama en bloques de MatLab/Simulink.

Cabe aclarar que el modelo presenta una parte destinado a las ingestas de glucosa y permite anuncios de éstas. Dichos conceptos han sido preliminarmente introducidos en la ontología con miras a integrarse a futuro con ontologías dedicadas específicamente a nutrición. Se prevé además que la ontología pueda ser extendida, para que la misma forme parte de una ontología de mayor escala, capaz que ser el nexo de información compartida entre profesionales de la medicina y de nutrición. El campo de extensión de la ontología puede, a su vez, ser sucesivamente extendido a más áreas profesionales.

A los efectos de abordar una descripción más profunda, se aclara que todos los procesos del Sistema Endocrino Humano se describen en la ontología con *individuos* que representan tanto su descripción física como funcional. Finalmente, la descripción funcional de cada proceso se asocia con el correspondiente sub-sistema de ecuaciones diferenciales, el cual describe matemáticamente su funcionamiento. Dicho de otra forma, para la implementación del modelado en términos de ontologías, se crearon estructuras de clases, *individuos* y propiedades, a los efectos de contar con una descripción funcional y física de todos los procesos del Sistema Endocrino Humano.

Por ejemplo, el individual **`stomach`**, perteneciente a la clase **`Stomach`**, la cual es, a su vez, subclase de **`Reactor`** (la cual es una clase de la estructura básica de OntoCAPE), se ha establecido la propiedad en la ontología, que realiza (**`realizes`**), el proceso **`stomach-process`**, lo cual es una instancia de la clase **`ProcessStep`** (escalón de un proceso), que representa un sub-proceso de un proceso completo global. Este **`stomach-process`**, a su vez, está relacionado, en la ontología, con su respectivo sub-sistema de ecuaciones diferenciales.

Para lograr el nivel de detalle descripto anteriormente, se definieron *clases, individuos* y *propiedades de objeto* en la ontología OntoCAPE base, lo cual se considera haber conformado una extensión de la misma. La cantidad de elementos de ontología definidos para realizar dicha extensión, asciende a más de 600, y por razones de espacio del presente trabajo no podrán describirse en su totalidad.

Principalmente, todo el modelado del Sistema Endocrino Humano se realizó teniendo en cuenta las reglas de modelado de OntoCAPE, en el módulo **`chemical_process_system`**. Dichas reglas se describen en las *Fig.2* y *Fig.3*. Se tiene en cuenta que para todo tipo de representación de Sistemas de Procesos Químicos (**`ChemicalProcessSystem`**), se considera que éstos están compuestos por un determinado número de Unidades del Proceso (**`ProcessUnit`**). Así, se describe el Sistema Endocrino Humano como un *chemical process system*, y se hace hincapié en representar a los Sistemas Ingesta, Glucosa, Insulina, Musculación e Hígado como sub-sistemas del Sistema Endocrino, todo esto con una profunda capa de abstracción semántica. Más aún, todos los parámetros relacionados con la operación dinámica de los distintos procesos, tienen una descripción en la ontología, y están asociados a su valor numérico y unidad de medida, de acuerdo a las especificaciones del Simulador.

En la ontología se definen también conceptos para representar flujos de señales y flujos de masas, de una manera discriminada.

Para los trabajos de edición de ontologías, se utilizó *Protégé 4.3 (build 304)* **[11]**. Para efectos de testeo de consistencia del conocimiento modelado en la ontología se utilizó el razonador *HermiT 1.3.8* **[12]**; el cual ha sido el razonador de ontologías que mejor rendimiento y resultados ha mostrado en los testeos. Con la utilización del razonador se accede a conocimiento complementario modelado en la ontología, representado mediante inferencias.

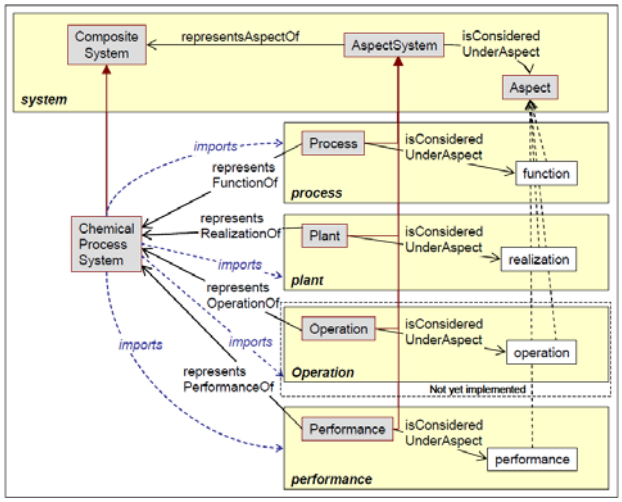


Fig. 2. Presentación de la consideración de *aspect system* para la parte de procesamiento de un *chemical process system*.

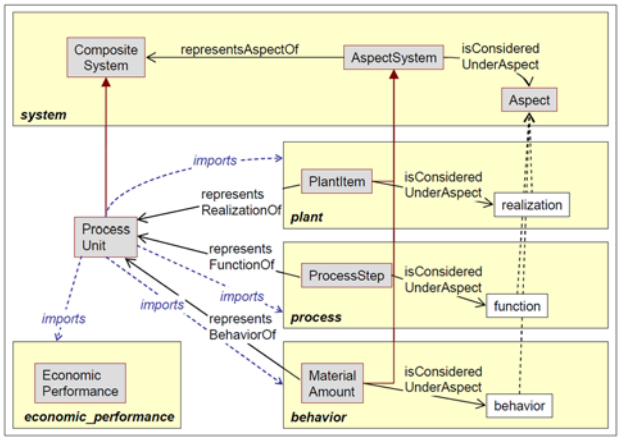


Fig. 3. Presentación de consideraciones de *aspect system* para *process unit*.

La metodología de trabajo adoptada para llevar adelante la tarea de modelado fue, en primer lugar, el estudiar y generar conocimiento acerca del módulo **chemical_process_system** de OntoCAPE. Posteriormente, realizar un relevamiento acerca de qué módulos de **chemical_process_system** son aptos para el modelado que se está intentando hacer. Depuración de la ontología, eliminando el exceso de información, y así, aquellos módulos que no son necesarios para la descripción del sistema que se desea modelar. Extensión de las clases **ProcessStep**, **PlantItem**, **ProcessUnit**, **AspectSystem**, **Plant**, **Process**, **ChemicalProcessSystem**, etc, a fin de lograr la estructura de clases deseada y apta para la descripción del proceso específico del modelo matemático implementado en el Simulador UVA/Padova. Posteriormente, se realizó la creación de todas las instancias de las clases y la asociación entre ellas mediante propiedades de objeto de la ontología. La mayoría de las propiedades de objeto utilizadas, son parte del paquete OntoCAPE por defecto, sin embargo, un gran número de propiedades de objeto han debido crearse.

5 Implementación [10]

Para la implementación de la ontología se escribió un programa en *Java*, capaz de obtener, de la ontología, el conocimiento del sistema de ecuaciones diferenciales del Simulador UVA/Padova. Esta tarea se realiza con métodos que analizan la estructura de datos de *binary tree*. Una vez recuperadas las ecuaciones, y haciendo utilización de una serie de reglas de modelado, el programa construye la S-FUNCTION del Simulador UVA/Padova, a los efectos de crear el ambiente adecuado para una simulación dinámica de los pacientes de la base de datos del Simulador, ahora cargados en la ontología.

Con dicho programa se crea también el escenario para la simulación, en *MatLab/Simulink*, del mencionado sistema de ecuaciones, y se muestra en pantalla la evolución de glucosa en sangre de un paciente determinado, de la base de datos del 30 pacientes disponible. Todos los parámetros del modelo matemático relacionados con la característica particular del Sistema Endocrino de cada paciente son también cargados en la ontología, y recuperados con el programa, para la carga de los mismos en el espacio de trabajo de la herramienta de cálculo. Esto significa una contribución de gran utilidad respecto del punto de partida que representa la estructura de OntoCAPE, dado que la misma provee escasa información para la implementación de simulaciones dinámicas de los procesos descriptos.

6 Conclusiones

Se ha puesto de manifiesto, en este trabajo, que es posible incorporar la rama semántica a software dedicado al modelado del sistema endocrino de pacientes diabéticos. El conocimiento modelado en la ontología puede ser llevado a niveles de aún

mayor abstracción, dado que OntoCAPE permite la (re)utilización de sí misma, y así también la ontología resultante con el modelado del Sistema Endocrino Humano.

Con la utilización del razonador informático se puede corroborar en todo momento la consistencia de la ontología, a modo de no incurrir en errores semánticos. Pueden también agregarse nuevas *propiedades de objeto* y *clases*, para profundizar en el nivel de detalle de los procesos modelados.

El conocimiento acerca del funcionamiento del Simulador UVA/Padova, representado en la ontología mediante la descripción en *binary tree* del sistema de ecuaciones diferenciales, ha podido ser leído, y utilizado adecuadamente para la implementación de simulaciones *in-silico* de la dinámica de la glucosa en sangre de pacientes determinados. Gracias a ello, con el software implementado, se captura en la ontología todo el conocimiento acerca del Simulador UVA/Padova, y se puede, desde la misma ontología, efectuar simulaciones dinámicas en herramienta de cálculo. No se presentan en la actualidad, casos similares de extensión de OntoCAPE para el manejo de simulaciones dinámicas de pacientes diabéticos en herramientas de cálculo, como lo presentado aquí.

6.1 Trabajos Futuros.

Como se dijo anteriormente, nada relacionado con la ingesta oral de glucosa ha sido modelado en detalle en la presente versión de la ontología. Representa un gran desafío a futuro el sintetizar una ontología que permita el cálculo de una dosis oral de glucosa ingerida, mediante la especificación de alimentos comerciales que el paciente incorpora en su organismo.

Se espera extender la versión ampliada de OntoCAPE para el tratamiento de sistemas biológicos con miras a ser utilizada como núcleo de una plataforma de lenguaje compartido en telemedicina para profesionales de diferentes áreas abocadas al tratamiento de pacientes diabéticos.

7 Referencias

1. Organización Mundial de la Salud, Diabetes: Factsheet, **http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/en/**.
2. International Diabetes Federation: IDF Diabetes Atlas 6th Edition. Brussels, Belgium (2013).
3. Entrevista al Dr. Juan José Gagliardino: "La prevalencia de la diabetes en la población argentina es de 8.5%", **http://www.unirse.com.ar/edic%20165.htm**.
4. Campetelli, G.: Desarrollo de Bio-modelos Computacionales para Asistir en la Toma de Decisiones Tendientes a Mejorar la Calidad de Vida de Pacientes Diabéticos. CIFASIS-CONICET; Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura; Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina (2014).
5. Colmegna, P.: Simulation & Control in Type I Diabetes. Instituto Técnico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina (2014).

6. MatLab, Simulink y MatLab S-FUNCTION Websites, **http://www.mathworks.com/products/matlab/**, **http://www.mathworks.com/products/simulink/** y **http://www.mathworks.com/help/simulink/sfg/what-is-an-s-function.html**.
7. Marquardt, W., Morbach, J., Wiesner, A., Aidong, Y.: OntoCAPE A Re-Usable Ontology for Chemical Process Engineering. Berlin: Springer RWTHedition (2010).
8. The user community of the re-usable Ontology for Chemical Process En gineering, **http://www.ontocape.org/**
9. Web Ontology Language Overview, **http://www.w3.org/TR/owl-features/**.
10. Bora, J., Benegui, M.: Utilización de Ontologías para Cap turar el Conocimiento Experto en Modelado del Sistema Endocrino Humano y su Control (Proyecto de Ingeniería). Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, en colaboración con CIFASIS-CONICET. Rosario, Argentina (2015).
11. Protégé Website, **http://protege.stanford.edu/**.
12. HermiT OWL Reasoner Website, **http://hermit-reasoner.com/**.

Ontology Network for Social Network Analysis in a Knowledge Management Context

Bárbaro Gonzalez[1], Omar Chiotti[1] and Mariel Ale[2]

[1]INGAR-CONICET
Avellaneda 3657, Santa Fe, Argentina
barbaro@santafe-conicet.gov.ar,
chiotti@santafe-conicet.gov.ar,
2 CIDISI - UTN
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina
male@utn.frsf.edu.ar

Abstract. Organizational knowledge is one of the most valuable assets that companies own today. For several decades organizations have been developing strategies to manage knowledge with particular emphasis on tacit knowledge discovery. The particular dynamic that presents the evolution and transfer of tacit knowledge is closely tied to the relations between people. For this reason, Social Network Analysis (SNA) can be a powerful tool to support a Knowledge Management (KM) initiative. Despite usefulness recognition of SNA techniques within KM processes, there is still remains the initial problem of data collection and representation (problem shared by both initiatives). The aim of this paper is to analyze an ontology network usefulness to obtain the necessary knowledge structure to feed the SNA-KM integration architecture proposed.

Keywords: Ontology Network; Social Network Analysis; Knowledge Management

1 INTRODUCTION

The particular dynamic that presents the evolution and transfer of tacit knowledge is closely tied to the relations between people within the organization who are the main containers of this type of knowledge. For this reason, Social Network Analysis (SNA) can be a powerful tool to support a Knowledge Management (KM) initiative [1].Any KM initiative should be nurtured not only of relations between individuals but also between individuals and Knowledge Objects (KO) that are vital for business development within the organization.

In recent decades, SNA has become a formally established research method for social science with dedicated journals (Social Networks, Journal of Social Structure and Connections), textbooks and handbooks [2], specific software (Ucinet) and an association (the International Network for Social Network Analysis). All of this has allowed SNA to spread to other disciplinary fields generating several lines of research.

The first concern before any social network analysis is the collection of primary data on which the study will be conducted. Traditional SNA methods based on interviews and surveys have proved useful for obtaining a basis for understanding information communication and transfer in social networks. However, most studies using these techniques have been limited to relatively small data sets mainly due to difficulties in network members' access, the time and effort required for participants to complete the questionnaires and ethical, analysis and interpretation issues.

The growth of online interactions within the business world and the recording of these interactions opened a new data source for SNA techniques application. Using this data source has many KM related advantages for the organization. On the one hand, it reflects the dynamics of organizational knowledge evolution and, an analysis of these interactions allow inferring topics of interest (knowledge objects) for the organization and who are those who know about these issues (referrals). On the other hand, its automatic collection is aligned with one of the basic prerequisites for success of any KM initiative related with not to impose a work overload to workers.

The aim is to analyze ontologies usefulness to obtain the necessary knowledge structure to feed the SNA-KM integration architecture proposed. This paper focuses on the development of the knowledge layer of this architecture. To this end, the paper is organized as follows. Section 2 presents a review of previous works related to KM and SNA integration. Section 3 outlines the SNA-KM integration architecture proposed. The ontology based knowledge layer is presented in Section 4. Finally, Section 5 presents conclusions and future challenges in the area.

2 RELATED WORK

Analysis and discussion of network structures and its influence on management was strongly influenced by Drucker [3], Savage [4] and later by Kanter [5] which emphasized the importance of networks in knowledge management and distribution. According to these authors, organizations that develop and promote both internal and external networks are in a better position when it comes to managing their knowledge.

However, despite the recognition of networks as the ideal means for organizational knowledge creation and distribution, nor a systematic development of methods for networks and knowledge communities recognition, neither the analysis of their structure and evolution that allow a practical use of them is observed. It is at this point that the SNA methods may become a useful tool for KM.

SNA has made important contributions to a variety of fields including epidemiology, anthropology, social psychology, etc. However, the application of SNA techniques to KM or knowledge modeling itself is relatively new.

The link between KM and SNA techniques was traditionally related to recommender systems [6]. Such systems seek to predict the 'rating' or 'preference' that a user would give to an item (such as music, books, or movies) or social element (e.g. people or groups) they had not yet considered, using a model built from the characteristics of an item (content-based approaches) or users' social environment (collaborative filtering approaches) [7].

The idea of the usefulness of SNA in activities related to knowledge is based on the notion that social networking is a key factor in understanding knowledge creation processes. Hildreth and Kimble [8] suggest that knowledge creation and social networks are closely related and that this relationship has a positive connotation. These networks also represent relationships between members and the availability and exchange of knowledge resources in the network [9].

Other authors who delved into organizational dynamics indicated that knowledge distribution requires social processes and interactions usually due to the tacit nature of knowledge [10]. In this context, applying SNA techniques seems natural. Nonaka and Takeuchi [11] also argued that some level of co-presence, social affinity, and socialization are required to enable effective transfer of knowledge that is difficult to codify. Knowledge creation is a collaborative process by which domain members interact, develop, and exchange new knowledge while shaping the formal and informal networks of a particular domain [12]. In fact, social networks facilitate knowledge creation process because they define connectivity of members, which in turn directly affects the conditions of intellectual collaboration and exchange processes between members. Studying social networks, thus, has become a major organizational focus on developing partnerships in communities where the network is constituted by the key processes in knowledge creation and distribution [13]. These are key processes to any initiative of organizational knowledge management.

The effectiveness of an organization and its ability to accomplish its full operational potential largely relies on the strength of the relationships between its individuals and the presence of multiple knowledge flows. However, little analysis has been done on other relationships that are critical when managing knowledge in an organization such as those between people a KO and people and tasks.

Despite usefulness recognition of SNA techniques within KM processes, there is still remains the initial problem of data collection (problem shared by both initiatives). Therefore, it is not surprising that there is growing interest in automatically recovering and analyzing individuals' online behavior using Web and data mining techniques [14].

3 KM AND SNA INTEGRATION

In the KM area, SNA techniques could give support to three main areas: the discovery of an informal structure that coexists with the formal structure within the organization (this occurs even in larger rigid and bureaucratic companies), the manifestation of knowledge resources (individuals or objects) that are critical or central to the organization, and the facilitation of location and access to these resources.

Networks formation within an organization has important implications for all aspects of organizational life. Numerous network theoretical models and empirical studies have examined how the network structure affects the results of a variety of tasks [15].In this context, SNA is shown as a promising approach to help organizations manage a number of classic situations including leadership and task force selection, informal structure discovery and knowledge resources manifestation among others

[16].Ale and Galli proposed different perspectives relating people, knowledge objects, and tasks in an integration SNA-KM architecture (Figure 1) [1]. These perspectives were defined in relation to three layers that must be taken into account when implementing a KM initiative: social layer (containing individuals within the organization), knowledge layer (containing all those knowledge objects valuable to the organization along with its classification structure - an ontology in our case), and the business process layer (containing the set of business process models of the organization).

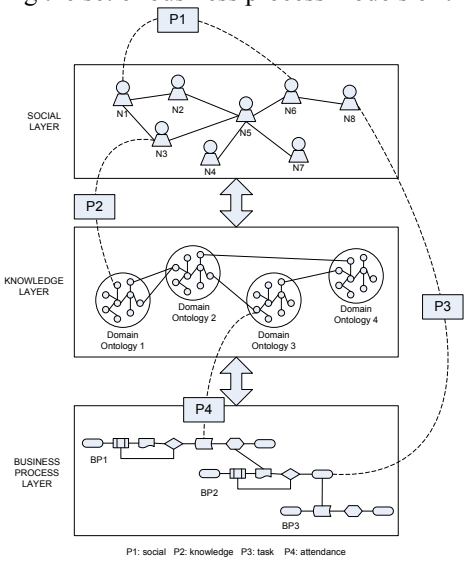


Fig.1. Integration perspectives

The commonly used perspective, the social one, aims to represent relationships between individuals within the organization (P1). The knowledge perspective is intended to determine who knows what within the organization and therefore it relates knowledge objects with people who know them. This perspective is defined between the social layer and the knowledge layer (P2). The knowledge layer contains organizational knowledge distributed on different domains that correspond to different business units or departments in the organization. The task perspective relates people and tasks or events that should be included as part of their daily work (P3). The attendance perspective aims to answer the question of what knowledge objects are required to perform a given task or pursue a particular event (P4). These perspectives are related with the business process layer. This layer contains the business processes defined within the organization. An analysis of relationships across these perspectives may point to the need for change in the organizational structure or to the granting of new roles to solve identified bottlenecks. Figure 1 shows the four perspectives identified through the layers defined in the organization [1]. Once integration perspectives between SNA and KM are defined is necessary to analyze the possibility of collecting the necessary data to feed the proposed architecture and thus take advantage of such integration.

Due to the advancement of data mining techniques the main components of the social layer (nodes and relations) can be extracted and characterized [17]. A technique commonly used for node detection involves the discovery of names and references to persons within the text. There are two main approaches to this task, the first involves the search for names that are in a dictionary [18] the second applies linguistic rules or patterns to the content and sentence structure to identify potential names. These patterns and linguistic rules are usually built based on characteristic attributes of words such as frequency, context and position in the text [19]. For details on the recognition of named entities see Nadeau and Sekine [20].
Knowledge involved in organizational domains (knowledge layer) can be classified into three groups: knowledge commonly used throughout the organization, knowledge specifically used by a domain and knowledge shared between domains. This knowledge classification can be properly represented by an ontology network, in which common concepts are modeled by a general ontology, domain specific concepts are modeled by domain ontologies and concepts shared between domains are modeled by relationships between concepts of domain ontologies.

4 KNOWLEDGE LAYER DESIGN

As it was said in Section 1, this work focuses on the development of the knowledge layer. To carry out the design and development of this layer the NeOn methodology has been applied, using NeOn Toolkit1. This particular methodology has been chosen due to NeOn [21] has been successfully used to build ontology networks for different domains and by people with diverse background, for example, and just to name a few, in e-employment [22], in education [23] in tourism [24] and in mobile environments [25]. NeOn can be adapted to user needs, and includes new processes and activities involved in developing ontology networks. Following this methodology, the competency questions technique [26] to elicit ontology requirements was used.
Enron Corpus [27] is used as information source to discover the network of domains ontologies. The Enron Corpus contains 96,107 messages from the "Sent Mail" directories of all the users in the corpus. Divided across 45 files, the Enron Corpus contains 2,205,910 lines and 13,810,266 words. This corpus was selected due to it is the single corpus of "real" emails publicly available suitable for this study.

4.1 Ontology Network Scope and Formality Level

Knowledge management ensures the development and application of all types of relevant knowledge in a company in order to improve their ability to solve problems and contribute to the sustainability of their competitive advantages. In this context, it is crucial to identify those who are a source of valuable information and support the transformation of organizational knowledge to some structured form that can be processed. Consequently, the purpose of the ontology network proposed is to model

[1]http://neon-toolkit.org/wiki/Main_Page.html

semantic information concerning the knowledge objects of Enron employees from the data obtained in the Enron Corpus. In terms of scope, services provided by Enron are grouped into the following domains: Energy services, Broadband services, Risk Management services and General specification. The last domain involves those concepts that are common for the three services type.

To meet the requirements of the platform proposed the ontology network is implemented in OWL 2. This language provides a good balance between expressivity and computational completeness.

4.2 Requirements and Intended users/uses identified

The analysis of the motivating scenarios allowed us to identify as intended users of the ontology: managers and employees that create/use knowledge objects. The analysis of the motivating scenarios described in [21], allowed us to identify as the main intended uses of the ontology: representation, search and retrieval of knowledge objects.

As non-functional requirements we can mention that the ontology has to be developed in English.

Due to the lack of domain experts, competency questions were elicited from Enron Corpus. Forty competency questions grouped into four groups were defined:

Energy services Group: covers all the topics and concepts of one of the business units within Enron, whose purpose was to supply gas, electricity and related management services directly to businesses and homes.

Broadband services Group: covers all the topics and concepts of three business units within Enron: intermediation, fiber optic network and content services. Acquisitions business was based on the e-commerce platform Enron Online.

Risk management services Group: covers all the topics and concepts of a business unit that was used by both Enron and their customers. The purpose of this unit was managing risks to provide security and integrity of the buying and selling of products. Financial accounting and commercial prepaid were part of the service they provided.

General Group: Common themes and concepts shared with other groups.

Some of the competency questions of General Domain can be seen in Table 1.

Competency Questions – General Domain
1. What are the research projects?
2. Who are the employees of Enron that participate in research projects?
3. How many employees does Enron have?
4. What are the main services provided by Enron?
5. What are the areas of knowledge generated by employees in the services?
6. How many customers have by services?
7. What are the contracts that Enron have?
8. How much annual revenue generated by the Company's services?
9. What are the Enron departments?
10. What are the most important departments by services?

11. What are the most qualified employees by departments?
12. What are the filed reports?
13. What are the Enron power plants?
14. What countries have the power plants?

Table 1. Examples of competency questions from General Domain

4.3 Terminology extraction

Competency questions were answered by performing a text mining of the Enron Corpus by using Automap[2]..Main terms were extracted from competency questions and their answers, counting frequency of their occurrence. Extracted terms were formally represented in the ontology network by means of concepts, attributes and relations.

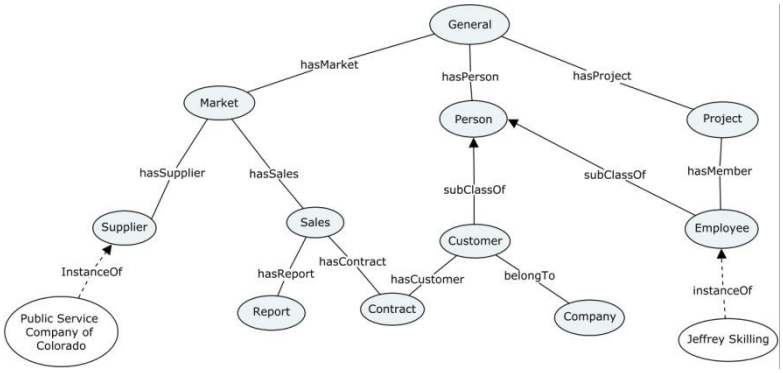


Fig.2. Ontology Domain – General

In Figure 2 main concepts of domain General can be seen. Term *General* represents the ontology concept "Thing". It is related to *Market*, *Person* and *Project* concepts through *hasMarket*, *hasPerson* and *hasProject* relationships respectively. Relationship *hasMember* relates *Employee* and *Project* concepts denoting that employees are part of company projects. Concept *Employee* is a subclass of concept *Person* and inherits its properties. Relationships *hasSupplier* and *hasSales* relate the *Market* concept with *Supplier* and *Sales* concepts. Relationships *hasContract* and *hasReport* relate *Sales* concept with *Contract* and *Report* concepts respectively. These relationships denote that sales are made through contracts and informed through reports.
Relationship *hasCustomer* relates *Contract* concept to *Customer*. The *Customer* concept is related to *Person* and *Company* concepts through *subClassOf* and *belongTo* relationships respectively. Relationship *subClassOf* denotes that customer is a subclass of person and inherits its properties and relationship *belongTo* denotes that a customer belongs to a company.

[2]http://www.casos.cs.cmu.edu/projects/automap/

4.4 Ontology Network

The same procedure applied to obtain the General ontology for domain General specification was followed to obtain the ontology for services domains: Energy services ontology for domain Energy services, Broadband services ontology for domain Broadband services, and Risk Management ontology for domain Risk Management services (Top of Figure 3). The ontology network is conformed through relationships between the General ontology and the ontologies of three services domains provided by Enron.

Relationship usesSymbolsOf [28] (Figure 3) denotes that properties of an ontology concept involve instances of a concept from other ontology. So, even though they are separated ontologies, an ontology depends on another due to the first has properties involving instances of the second. Relationship semanticallyIncludedIn[29] relates common concepts between two ontologies. So, Energy services ontology, Broadband services ontology and Risk Management services ontology are related with the General ontology through a semanticallyIncludedIn relationship (Top of Figure 3).

For example, relationship semanticallyIncludedIn between General ontology and the Risk Management ontology allows relating (through relationship hasInvestment) Customer concept modeled by the General ontology with Investment concept modeled by the Risk Management ontology (bottom of Figure 3). This relationship represents that the investment funds managed by the Risk Management services are owned by the customer. Relationship semanticallyIncludedIn between General ontology and Broadband services ontology allows relating (through relationship employeeOf) Employee concept modeled by General ontology with Broadband services concept modeled by Broadband services ontology (bottom of Figure 3). This relationship represents that the broadband service has employees. For the same purpose, Employee concept is also related through employeeOf relationship to Energy service and Risk management, which are the main concepts of Energy services ontology and Risk Management ontology respectively.

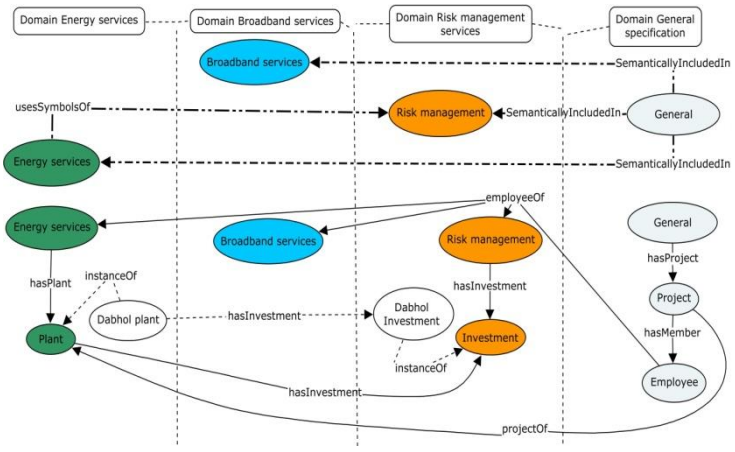


Fig. 3. Ontology Network

Relationship s*emanticallyIncludedIn* between General ontology and Energy services ontology allows relating (through relationship *projectOf*) *Project* concept modeled by General ontology with *Plant* concept modeled by Energy services ontology (bottom of Figure 3). This relationship represents those projects that involve Enron production plants. Relationship *usesSymbolsOf* between Risk Management ontology and Energy services ontology allows relating (through relationship *hasInvestment*) *Plant* concept modeled by Energy services ontology with *Investment* concept modeled by Risk Management ontology. This relationship represents that the instances of *Plant* concept have *Investment* among their properties.

5 CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

In this paper, the topic of ontology network design to feed the proposed methods for SNA-KM integration architecture was addressed. The main focus was to develop an knowledge representation model to support the knowledge layer defined in the integration architecture of enterprise knowledge management and social network analysis techniques. The ontology network proposed constitutes a representation layer of organizational knowledge that provides a homogeneous view of organizational knowledge objects that are naturally heterogeneous.

The modeling of knowledge objects enables to define some perspectives of the proposed architecture. Specifically, those perspectives that relate knowledge objects with people and knowledge objects with tasks.

As future work, there is the testing of techniques for knowledge objects classification using the ontology network defined with the appropriate search and retrieval strategies of these objects and the modeling of the other two architecture layers.

REFERENCES

[1] M. Ale and M.R. Galli, "Integration Perspectives of Organizational Knowledge Management and Social Network Analysis", *Proceedings of XXXIX Latin American Computing Conference*, CLEI 2013, pp. 414-421.

[2] J. Scott and P. Carrington, Eds., *The SAGE Handbook of Social Network Analysis [Hardcover]*. SAGE Publications Ltd, 2011, p. 640.

[3] P. Drucker, "What business can learn from nonprofits," *Harvard business review*, vol. 67, no. 4, pp. 88–93, 1989.

[4] C. M. Savage, *5th generation management: integrating enterprises through human networking*. Newton, MA, USA: Digital Press, 1990, p. 267.

[5] R. M. Kanter, *Evolve!: Succeeding in the Digital Culture of Tomorrow*. Harvard Business Press, 2001, p. 352.

[6] Y.-M. Li, T.-F. Liao, and C.-Y. Lai, "A social recommender mechanism for improving knowledge sharing in online forums," *Information Processing & Management*, vol. 48, no. 5, pp. 978–994, Sep. 2012.

[7] F. Ricci, L. Rokach, and B. Shapira, Eds., *Introduction to recommender systems handbook*. Springer US, 2011, pp. 1–35.

[8] P. Hildreth and C. Kimble, *Knowledge networks: Innovation through communities of practice*. IGI Global, 2004, p. 354.

[9] C. Haythornthwaite, "Social network analysis: An approach and technique for the study of information exchange," *Library & Information Science Research*, vol. 18, no. 4, pp. 323–342, Sep. 1996.

[10] R. Gulati, "Does familiarity breed trust? The implications of repeated ties for contractual choice in alliances," *Academy of management journal*, vol. 38, no. 1, pp. 85–112, 1995.

[11] I. Nonaka and H. Takeuchi, *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, 1995, p. 304.

[12] M. A. McFadyen, M. Semadeni, and A. A. Cannella, "Value of strong ties to disconnected others: Examining knowledge creation in biomedicine," *Organization science*, vol. 20, no. 3, pp. 552–564, 2009.

[13] D. Klimkeit, "Networks , Forms of Exchange and Motivations. Insights from Social Anthropology for the Issue of Knowledge Sharing," in *Professional Knowledge Management*, 2005, pp. 392–397.

[14] A. Gruzd and C. Haythornthwaite, "Networking online: cybercommunities," in *The SAGE Handbook of Social Network Analysis*, J. Scott and P. J. Carrington, Eds. SAGE Publications Ltd, 2011, pp. 167–179.

[15] D. Enemark, M. McCubbins, and N. Weller, "Knowledge and networks: An experimental test of how network knowledge affects coordination," *Soc. Networks*, 2014.

[16] R. Cross, A. Parker, and S. Borgatti, "A bird's-eye view: Using social network analysis to improve knowledge creation and sharing," 2002. [Online]. Available: http://www.workinfo.org/index.php/articles/item/709-a-bird-s-eye-view-using-social-network-analysis-to-improve-knowledge-creation-and-sharing. [Accessed: 25-Apr-2014].

[17] A. Gruzd and C. Haythornthwaite, "Networking online: cybercommunities," in *Handbook of Social Network Analysis.*, J. Scott and P. Carrington, Eds. SAGE Publications Ltd, 2011, pp. 168–179.

[18] M. Harada, S. Sato, and K. Kazama, "Finding authoritative people from the web," *Proc. 4th ACM/IEEE-CS Jt. Conf. Digit. Libr.*, pp. 306–313, 2004.

[19] D. Nadeau, P. Turney, and S. Matwin, "Unsupervised named-entity recognition: Generating gazetteers and resolving ambiguity," in *Lecture Notes in Computer Science: Advances in Artificial Intelligence*, J. G. Carbonell and J. Siekmann, Eds. SAGE Publications, Inc; 2nd edition, 2006, pp. 266–277.

[20] D. Nadeau and S. Sekine, "A survey of named entity recognition and classification," *Lingvisticae Investig.*, vol. 1, no. 30, pp. 3–26, 2007.

[21] M. C. Suárez-Figueroa, A. Gómez-Pérez, and M. Fernández-López, "The NeOn Methodology for Ontology Engineering", *Book Chapter in Ontology Engineering in a Networked World*, 2012, Publisher: Springer Berlin Heidelberg, pp. 9-34.

[22] Villazón-Terrazas B, Ramírez J, Suárez-Figueroa MC, Gómez-Pérez A (2011) A network of ontology networks for building e-employment advanced systems. *Expert Syst Appl* 38(11):13612–13624.

[23] Clemente J, Ramírez A, de Antonio A (2011) A proposal for student modeling based on ontologies and diagnosis rules. *Expert Syst* Appl 38(7):8066–8078.

[24] Lamsfus C, Alzua-Sorzabal A, Martin D, Salvador Z, Usandizaga A (2009) Human-centric ontology-based context modelling in tourism. In: *Proceedings of KEOD 2009 Proceedings of the International Conference onKnowledge Engineering and Ontology Development*, Funchal - Madeira, Portugal, October 6–8, 2009. INSTICC Press 2009, ISBN 978-989-674-012-2, pp 424–434.

[25] Poveda-Villalón M, Suárez-Figueroa MC, García-Castro R, Gómez-Pérez A (2010) A context ontology for mobile environments. In: *Workshop on Context, Information and Ontologies (CIAO 2010)* co-located with EKAW 2010, Lisbon.

[26] M. Gruninger, M. S. Fox. The role of competency question in enterprise engineering. In Proceedings of the IFIP WG5.*7 Workshop on Benchmarking - Theory and Practice*, Trondheim, Norway, 1994.

[27] The Enron Sent Corpus v1.0. Compiled by Will Styler at the University of Colorado. Available at http://www.cs.cmu.edu/~enron/.

[28] Dıaz, A., Motz, R., & Rohrer, E. (2011). Making ontology relationships explicit in a ontology network. *In V Alberto Mendelzon International Workshop on Foundations of Data Management* (AWM 2011), Santiago, Chile.

[29] (C. Allocca, M. D'Aquin, and E. Motta. DOOR - Towards a Formalization of Ontology Relations. In Jan L. G. Dietz, editor, KEOD, pages 13–20. INSTICC Press, 2009.).

SCK: Una ontología para evaluar la performance de una cadena de suministro en ambientes de simulación distribuida

Juan L. Sarli[1], Ma. de los Milagros Gutiérrez[2]

[1] INGAR, Instituto de Diseño y Desarrollo CONICET – UTN, Santa Fe, Argentina
juanleonardosarli@santafe-conicet.gov.ar

[2] CIDISI, Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería en Sistemas de Información UTN, Santa Fe, Argentina
mmgutier@frsf.utn.edu.ar

Abstract. Utilizar simulación distribuida para analizar cadenas de suministro favorece el reuso de simuladores independientes pertenecientes a los miembros de la cadena minimizando el costo de desarrollo de un simulador. Sin embargo, componer estos simuladores es un problema a resolver. Existen diferentes niveles de composición de simuladores: sintáctico, semántico y pragmático. Para atacar este problema es necesario expresar el dominio y el conocimiento de los componentes de una manera no ambigua y estandarizada. En este contexto, las ontologías son útiles ya que proveen una forma de representar el conocimiento a través de taxonomías de conceptos, axiomas, reglas y relaciones entre estos. Se presenta la ontología SCK como parte de una red de ontologías, para representar el conocimiento semántico de una cadena de suministro basada en los conceptos principales del modelo SCOR con el fin de proveer una herramienta adecuada para evaluar cadenas de suministro en el contexto de simulación distribuida.

Keywords: Simulación distribuida, HLA, cadena de suministro, modelo SCOR, ontologías.

1 Introducción

En los últimos quince años la comunidad de modelado y simulación ha demostrado un creciente interés hacia la construcción de modelos de simulación a partir de la composición de modelos existentes [1-4]. Este esquema es sumamente conveniente ya que promueve el reuso de los simuladores utilizados por cada uno de los participantes, minimizando el tiempo y la inversión de construcción de la simulación, y además, preserva tanto la autonomía local como la privacidad de los datos [5]. Estas características hacen adecuada la utilización de este enfoque para simular cadenas de suministro (CS). Una CS es una de las redes organizacionales más populares donde sus miembros realizan alianzas para alcanzar metas más importantes de las que obtendrían de forma aislada [6], [7]. El éxito de una CS depende de la coordinación

de las actividades de los participantes para hacer eficiente el flujo de materiales, de información y financiero. En este contexto, la simulación de una CS adquiere un rol fundamental.

La construcción de modelos de simulación a partir de otros modelos, denominados "bloques" reutilizables, trae aparejado el problema de la composición de simuladores. Dicho problema posee diferentes niveles, los cuales son: sintáctico, semántico y pragmático. La composición sintáctica se refiere a la conexión y comunicación entre componentes. La composición semántica determina si el modelo de simulación, armado a partir de los bloques, es semánticamente válido. Este tipo de composición determina si los bloques que integran el sistema de simulación están compuestos de una manera significativa y dicha composición es válida [8], [9]. Para componer sistemas de simulación correctamente y alcanzar una interoperabilidad válida la alineación y comprensión consistente debe ser alcanzada a nivel de un modelo conceptual [10]. Finalmente, la composición pragmática establece si los componentes son conscientes del contexto de simulación en el que se están ejecutando [3], y de ser este el caso, los componentes conocen cual es el uso que se le va a dar a los datos [11].

HLA (High Level Architecture) [12] es una propuesta ampliamente usada para construir simuladores a partir de la composición de simuladores independientes que interactúan a través de una interface común, para ello propone un esquema de federaciones y federados. Esta propuesta es una solución a la composición sintáctica de simuladores ya que estandariza el protocolo de comunicación y el formato del modelo de objetos que debe ser utilizado por los componentes. Para dar soporte a la composición semántica de simuladores en este esquema es necesario expresar el dominio de los componentes de una forma no ambigua, donde la semántica de los conceptos sea representada en forma explícita.

En este contexto, las ontologías son utilizadas para organizar la representación del conocimiento y capturar objetos de información en un dominio particular [13]. Continuando con esta investigación, en [5] se presenta la red de ontologías *SCFHLA* (Supply Chain Federation HLA) como propuesta para dar soporte a la composición semántica de simuladores en el contexto de una federación de CS. Este modelo conceptual considera cuatro dominios específicos: (i) El dominio de las CS, el cual es modelado por la ontología SCOnto (Supply Chain Ontology) [14] basada en el modelo SCOR (Supply Chain Operation Reference) [15], (ii) el dominio de federaciones modelado por la ontología FEDOnto (Federation Ontology), (iii) el dominio del modelo de objetos BOMOnto (Base Object Model Ontology) y (iv) el dominio de los modelos de empresa EMOnto (Enterprise Model Ontology).

Sin embargo, esta propuesta es una definición de alto nivel que muestra una aproximación a la resolución del problema. A su vez, SCOnto está basada en una versión previa del modelo SCOR y algunos de sus conceptos deben ser actualizados.

Por lo tanto para superar las debilidades señaladas, este trabajo propone incluir la ontología SCK (Supply Chain Knowledge) en la red *SCFHLA* de manera que dicha red (con la ontología SCK añadida) sea la base conceptual de una herramienta que permita la generación semiautomática de un modelo de objetos conceptual para una instancia dada de una federación HLA. El objetivo principal de la ontología propuesta

es representar el conocimiento semántico de una CS usando la versión actual del modelo SCOR y relacionarlo con los conceptos básicos de una federación HLA de simulación para evaluar la performance de una CS.

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. En la siguiente sección se presentan los conceptos preliminares para entender el trabajo tales como el modelo SCOR y el estándar HLA. Luego se presenta la ontología SCK y su integración a la red SCFHLA. Seguido se desarrolla un ejemplo donde se muestra la utilización de la ontología propuesta. Finalmente el trabajo se concluye y los trabajos futuros son presentados.

2 Conceptos Preliminares

2.1 Modelo SCOR

Este modelo fue desarrollado por la organización Supply Chain Council, y presenta los conceptos más importantes para modelar una CS. Además, permite comparar y evaluar el rendimiento de la CS como un todo y de sus actividades particulares. Dado que SCOR es un modelo conceptual, provee una terminología común y facilita el entendimiento a través de la CS. Este modelo ayuda a analizar, medir, fijar objetivos de performance, determinar oportunidades de mejora, identificar mejores prácticas y priorizar proyectos en la gestión de la CS.

SCOR [15] está organizado alrededor de los seis procesos de gestión básicos: Plan, Source, Make, Deliver, Return y Enable. También, define tres niveles jerárquicos de procesos los cuales son:

- Nivel 1 o Alcance: Define los tipos de procesos, alcance y contenido de la CS.
- Nivel 2 o Configuración: Define las categorías de procesos y la estrategia de operaciones.
- Nivel 3 o Pasos: Define los elementos de proceso y la configuración de los procesos individuales.

En todos los niveles, el modelo provee indicadores claves de rendimiento, los cuales se dividen sistemáticamente en cinco atributos de performance: Confiabilidad, Capacidad de Respuesta, Agilidad, Costos y Gestión de Activos (Activos).

De acuerdo al modelo SCOR un atributo de rendimiento es un conjunto de métricas usadas para expresar una estrategia [15]. En el contexto del modelo SCOR un atributo no posee el mismo significado que en modelado conceptual. Un atributo por sí mismo no puede ser medido; es usado para determinar una dirección estratégica. Las métricas de SCOR están organizadas en una estructura jerárquica. El modelo describe métricas de nivel uno, dos y tres. Las relaciones entre estos niveles son diagnósticas, por ejemplo: las métricas de nivel 2 sirven como diagnóstico para las de nivel 1. Esto significa que observando el rendimiento de las métricas de nivel 2 se puede explicar las diferencias de performance, o las posibles mejoras, para las métricas de nivel 1. Este tipo de análisis de rendimiento de la CS se conoce como descomposición de métricas [15].

2.2 Estándar HLA

HLA es una arquitectura estándar para reuso, integración e interoperabilidad de simuladores. Soporta el reuso de capacidades disponibles en diferentes simuladores, y posibilita el desarrollo de simuladores complejos de manera distribuida. La arquitectura HLA provee un framework dentro del cual los desarrolladores de simuladores pueden estructurar y describir sus aplicaciones de simulación. En este sentido HLA propone integrar sistemas de simulación diferentes, en un sistema mayor sin necesidad de reescribir algún componente o comenzar a crear desde cero el modelo de mayor nivel y su respectivo simulador. Cuando un simulador se implementa para que cumpla las especificaciones HLA se lo llama *Federado*. Luego, los federados se unen en federaciones las que se refieren a la simulación del sistema complejo formado. La definición de HLA abarca tres componentes esenciales (Figura 1) [12]:

- Reglas: Es un conjunto de ítems que definen las responsabilidades y relaciones entre los componentes de una federación HLA. Deben ser seguidas por los federados y las federaciones que quieran ajustarse al estándar. Seguir estas reglas asegura una interacción correcta entre los simuladores en una federación.
- Especificación de la Interfaz: Define la interfaz funcional entre federados HLA y la infraestructura de ejecución (RTI - Run-Time Infrastructure) de HLA. Se detallan los servicios que debe prestar el RTI, e identifica las funciones callback que debe proveer cada federado. El RTI ofrece una librería de programación y una interfaz de programación de aplicaciones (API – Application Program Interface) compatible con la especificación de la interfaz.
- Patrón de Modelo de Objeto (OMT): Provee un framework común para la comunicación entre los federados. OMT consta de los siguientes documentos:
  - Modelo de Objetos de la Federación (FOM - Federation Object Model): Describe los objetos, los atributos y las interacciones de la federación completa.
  - Modelo de Objetos de la Simulación (SOM - Simulation Object Model): Describe los objetos, atributos e interacciones usados por un federado.
  - Modelo de Objetos de Gestión (MOM - Management Object Model): Provee facilidades para acceder a información operativa del RTI en tiempo de ejecución. El MOM debe ser definido utilizando objetos, interacciones y constructores de la arquitectura de comunicación de HLA.

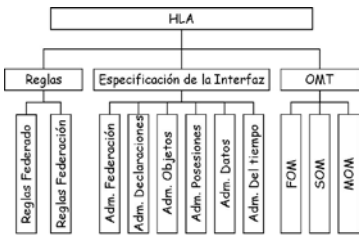


Fig. 1. Componentes HLA

Cada federado tiene un SOM que describe los datos que éste puede producir o consumir. Cada federación tiene un FOM que describe las partes comunes de los SOM correspondientes a los federados que participan y que serán usados en la federación. El RTI es el software necesario para ejecutar la federación y básicamente consiste en una implementación de la especificación de la interfaz compuesta por un conjunto de servicios. El RTI provee funcionalidades para comenzar y terminar la ejecución de la simulación, transferir datos entre los simuladores intervinientes, controlar la cantidad de datos que son transferidos y finalmente, coordinar el paso del tiempo de simulación entre los simuladores HLA. Este software está fuera del alcance de la especificación de HLA y es suministrado por proveedores de software específicos.

3 Ontología SCK

La ontología SCK se desarrolla con el objetivo de dar soporte a la evaluación de la performance en una CS a través de los conceptos del modelo SCOR. Esta ontología es integrada a la red de ontologías SCFHLA aportando de esta manera un mecanismo de evaluación y medición en el contexto de simulación distribuida de CS.

En la Figura 2 se presenta la red de ontologías SCFHLA, en la que se muestra la ontología SCK y su integración a la red a través de la meta-relación *evaluates* que vincula SCK con la ontología FEDOnto siendo la meta-relación inversa *isEvaluated-By*.

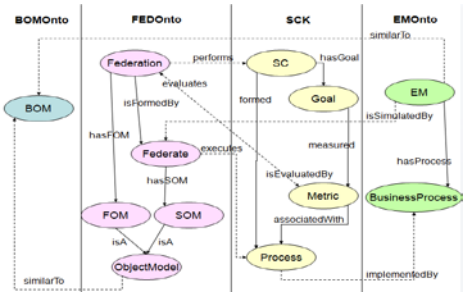


Fig. 2. Red SCFHLA

Según las prácticas recomendadas por la IEEE DSEEP (Distributed Simulation Engineering and Execution Process) [16] la primer tarea para desarrollar una federación es definir los objetivos de la misma. Dado que la federación se encuentra en el dominio de las CS, al definir un objetivo éste se traduce en un atributo de performance según lo establecido por el modelo SCOR. No es posible medir por sí mismo un atributo de performance, por lo que es necesario elegir un conjunto de métricas para evaluar el grado en que se logra cumplir con el mismo. Las métricas seleccionadas necesitan cierta información para calcular sus mediciones la cual es provista por los federados. Para establecer qué información necesita y genera un federado es imprescindible definir el FOM. Esta tarea normalmente implica una búsqueda de recursos reutilizables o la generación manual del mismo. Por lo tanto,

con el objetivo de lograr una generación semiautomática del FOM se presenta la red SCFHLA, con especial interés en la ontología SCK, la que modela los conceptos de una CS por medio del modelo SCOR. Para el desarrollo de la ontología se utiliza principalmente la metodología NeON [17], empleando además de la metodología METHONTOLOGY la actividad de evaluación de ontologías [18].

En la Figura 3 se presenta, por medio de un diagrama de clases UML, la ontología SCK y su relación con la ontología FEDOnto.

Se define el concepto *SupplyChain* como el concepto más general que representa la CS que se quiere simular. Dado que SCOR propone definir procesos que conforman la cadena, estos procesos se modelaron a través del concepto *Process* el cual tiene una subclase *Subprocess* para identificar que un proceso puede descomponerse en otros procesos más simples. A su vez estos procesos estarán relacionados unos con otros, a través del concepto *Relation* que representa los flujos de información y material que existe entre los procesos. *SupplyChain* tiene una meta denominada *Goal* la cual se encuentra asociada al concepto *PerformanceAttribute* que conceptualiza los atributos de performance definidos en SCOR. Estos atributos de performance señalan la dirección estratégica de la CS y se miden por medio de una métrica, que está representada por el concepto *Metric*. A su vez, el concepto *Metric* está asociada al concepto *Process* identificando que un *Process* tiene asociada una o más métricas y que una métrica puede estar asociada a varios procesos diferentes. Tanto *Process* como *Metric* tienen un atributo *level* que identifica el nivel de acuerdo con los niveles definidos en SCOR. Para poder calcular una métrica se necesita una fórmula. Así se define en la ontología el concepto *Formula*, que está asociado a *Metric*. El atributo *result* de *Formula* identifica el resultado que arroja su evaluación, el atributo *calculation* identifica la manera en que la fórmula será calculada y el atributo *unit* identifica la unidad a utilizar en el cálculo (por ej. día, mes, orden, etc). Una *Formula* posee *Variable* la que puede ser *AtomicVariable* o *ComplexVariable*. Una *AtomicVariable* es una medición de un recurso mientras que una *ComplexVariable* está compuesta de una o varias *Metric* ya que representa una medida de alto nivel sobre un recurso.

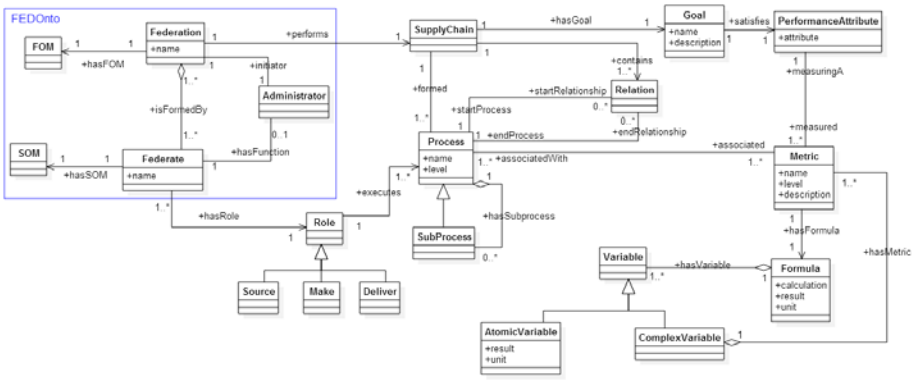


Fig. 3. Ontología SCK y FEDOnto

En la ontología *FEDOnto* se representan los conceptos relacionados con la simulación distribuida de acuerdo al modelo HLA. Así se representa la federación con el concepto *Federation* y el federado se representa por el concepto *Federate.* Para este contexto particular una federación representa la simulación de una CS. Para su representación se definió la relación *performs* que relaciona el concepto *Federation* con *SupplyChain.* Además se identifica que un federado participante de una federación debe tener un rol asociado para identificar el proceso de la CS que dicho federado modela. Para su representación, se definieron los conceptos *Role* que identifica el rol y tres subclases del mismo *Source*, *Make* o *Deliver*. A su vez, se define la relación *executes* entre *Role* y *Process* para indicar que un federado que juega ese rol ejecuta ese proceso de la cadena.

La ontología SCK se implementó utilizando la herramienta Protégé[1] versión 4.3. Para transformar el modelo conceptual de la Figura 3 en la ontología se aplicaron los siguientes criterios: (a) Las clases se transformaron en clases OWL[2] (Web Ontology Lenguage). (b) Las relaciones se mapearon como Object Properties. (c) Los atributos se tradujeron en Data Properties.

4 Definición de una Federación de CS

En esta sección se presenta un ejemplo de uso de la ontología SCK. Considere una CS cuya meta es: *Cumplir de forma perfecta con el 80% de las entregas de autos desde la fábrica hacia el concesionario durante el período de un año*. Esta CS se crea como una instancia de *SupplyChain* denominada Automóvil CS en la ontología. Su meta se define como instancia de *Goal* cuyo nombre es Objetivo CS y que contiene en el atributo *description* el objetivo de la CS. Según el modelo SCOR, esta meta se traduce en el atributo de performance "Confiabilidad" y es medido por la métrica de nivel uno "Cumplimiento Perfecto de Orden". Este atributo de performance se denomina Atributo CS y es una instancia de *PerformanceAttribute* cuya propiedad *attribute* contiene el atributo "Confiabilidad". La métrica que lo releva se nombra como Ordenes Perfectas y es una instancia de *Metric* que posee el atributo *level* en uno y la propiedad *name* con el nombre de dicha métrica. El cumplimiento perfecto de orden posee una fórmula que se crea como instancia de *Formula* denominada Formula Ordenes Perfectas. Además, esta fórmula posee en el atributo *calculation* como calcularse y en el atributo *unit* su unidad de medida. Para el cálculo de las órdenes perfectas se necesitan dos variables: total de órdenes y total de órdenes perfectas. La primera se define en el modelo como instancia de *AtomicVariable* con el mismo nombre y con la unidad orden. La segunda se denomina como Total Ordenes Perfectas y es instancia de *ComplexVariable*. Esta variable compleja se compone de cuatro métricas de nivel dos las cuales son: 1) Ordenes Entregadas Completas, 2) Entrega en Fecha, 3) Documentación Precisa y 4) Condición Perfecta. Cada una de ellas se crea como instancia de *Metric*. La métrica 1) posee la formula denominada Formula Orden Completa que es instancia de *Formula.* Dicha fórmula tiene las *AtomicVariable* Ordenes Entregadas

[1] http://protege.stanford.edu/
[2] http://semanticweb.org/wiki/OWL_2

y Ordenes Entregadas Completas. La métrica 2) tiene la formula nombrada Formula Entrega en Fecha que es instancia de *Formula*. Esta última contiene las *AtomicVariable* Ordenes Entregadas y Ordenes Entregadas en Fecha. La métrica 3) cuenta con la formula llamada Formula Documentación Precisa que es instancia de *Formula*. Esta fórmula posee las *AtomicVariable* Ordenes Entregadas y Ordenes Entregadas Documentación Exacta. La métrica 4) es calculada por medio de la fórmula que se denomina Formula Condición Perfecta que es instancia de *Formula*. Dicha fórmula tiene las *AtomicVariable* Ordenes Entregadas y Ordenes Entregadas Condición Perfecta.

Para generar la simulación distribuida de la CS Automóvil CS, el primer paso es crear una federación y definir su objetivo. Entonces, se crea AutomóvilCSH como instancia de *Federation* con los participantes fábrica de automóviles y concesionario de autos. Se establece como meta: *"Analizar durante el período de un año las entregas de automóviles de la fábrica al concesionario."* Durante este tiempo de simulación, se analizaran las entregas para determinar si se alcanza con éxito el objetivo de la CS definido anteriormente.

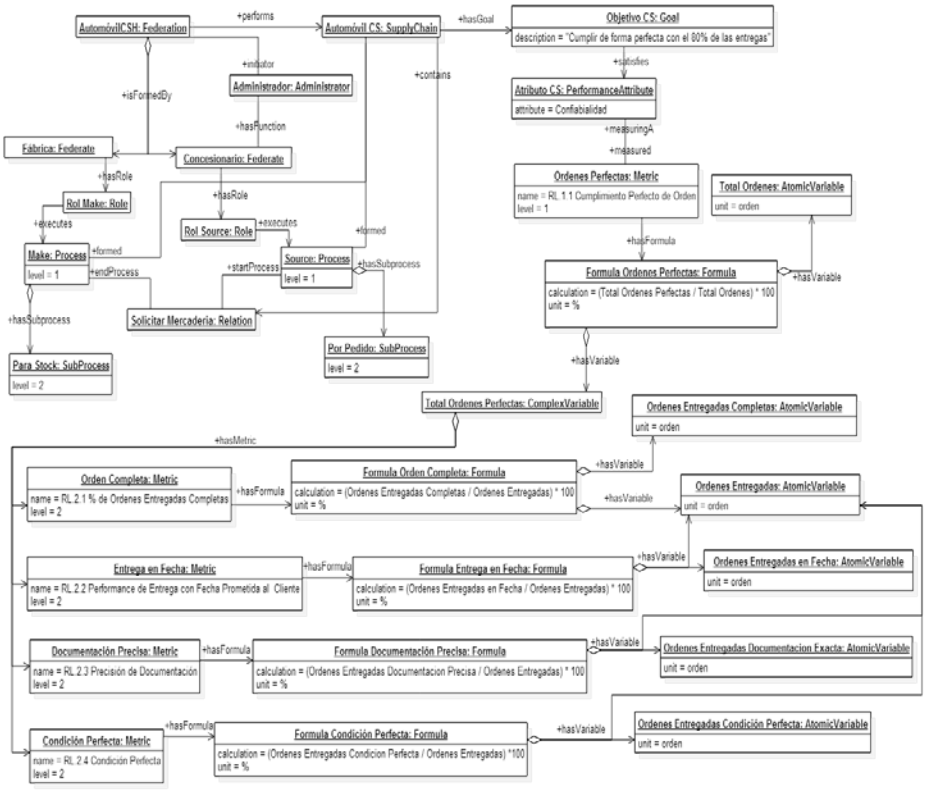


Fig. 4. Instanciación de la ontología SCK

Luego, los miembros se añaden a la federación y deben estar de acuerdo en la definición del FOM. Dado que los participantes son dos, se crean los federados Fábrica y

Concesionario como instancias de *Federate*. Se asigna el Rol Make a la fábrica porque transforma la materia prima en los autos, en tanto que, se establece el Rol Source al concesionario porque son de interés las interacciones que tiene con la fábrica para obtener los autos. Ambos roles se crean como instancias de *Role*. La Fábrica por medio del Rol Make tiene asociado un proceso de producción para poder construir los autos. Este proceso se denomina Make (instancia de *Process*) y posee un subproceso Para Stock (instancia de *Subprocess*). El Concesionario por medio del Rol Source cuenta con un proceso para solicitar el envío de autos. Este proceso se nombra Source (instancia de *Process*) y cuenta con un subproceso Por Pedido (instancia de *Subprocess*). La relación entre el proceso Source y Make se denomina Solicitar Mercadería y se crea como instancia de *Relation*. En la Figura 4 se muestran los conceptos instanciados para este ejemplo.

5 Conclusión

Este trabajo ha presentado la ontología SCK para dar soporte a la evaluación de la performance de una CS mediante los conceptos del modelo SCOR. Esta ontología se ha integrado a la red de ontologías SCFHLA, permitiendo de este modo, evaluar y medir una simulación distribuida de CS. Como trabajo futuro se pretende avanzar en nuevos conceptos, relaciones, propiedades, axiomas y reglas para representar con un mayor nivel de detalle el dominio. Algunas de las propiedades que se pueden añadir al modelo son: identificador de procesos, métricas y de tipos de procesos. Este último puede ser utilizado para definir reglas lógicas que validen la composición proceso subproceso. Por lo tanto, es posible validar que un proceso este compuesto solo de subprocesos del mismo tipo.

Dada la modularidad de la red de ontologías, se está trabajando en implementar una nueva ontología para el dominio de federaciones e integrarla a la red, para lograr una representación más detallada del dominio. A su vez, la red SCFHLA con la ontología SCK integrada sirve de base para el desarrollo de una herramienta para definir una federación de forma colaborativa y que siga los pasos descriptos en DSEEP.

Referencias

[1] P. L. Gustavson and L. M. Root, “Object model use cases: a mechanism for capturing requirements and supporting BOM reuse,” *Spring Simulation Interoperability Workshop*, Mar. 1999.

[2] S. Kasputis and H. C. Ng, “Composable simulations,” in *Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter*, 2000, vol. 2, pp. 1577–1584 vol.2.

[3] A. Tolk, “What Comes After the Semantic Web - PADS Implications for the Dynamic Web,” in *20th Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation, 2006. PADS 2006*, Beach Road, Singapore, 2006, pp. 55–55.

[4] A. Verbraeck, “Component-based distributed simulations: the way forward?,” in *18th Workshop on Parallel and Distributed Simulation, 2004. PADS 2004*, Kufstein, Austria, 2004, pp. 141–148.

[5] M. Milagros Gutiérrez and Horacio Leone, “Composability Model In A Distributed Simulation Environment For Supply Chain,” presented at the 42° JAIIO Simposio Argentino de Informática Industrial (SII), Córdoba, Argentina, 2013, pp. 142–153.

[6] W. W. C. Chung, A. Y. K. Yam, and M. F. S. Chan, “Networked enterprise: A new business model for global sourcing,” *International Journal of Production Economics*, vol. 87, no. 3, pp. 267–280, Feb. 2004.

[7] J. Arrazola, “Towards a new model: the globally integrated enterprise,” *Universia Business Review*, vol. 14, pp. 108–118, May 2007.

[8] E. W. Weisel, M. D. Petty, and R. Mielke, “Validity of models and classes of models in semantic composability,” in *Proceedings of the Fall Simulation Interoperability Workshop*, 2003.

[9] M. D. Petty, E. W. Weisel, and R. Mielke, “Overview of a Theory of Composability,” presented at the Virginia Modeling Analysis & Simulation Center, 2004.

[10] M. A. Hofmann, “Challenges of Model Interoperation in Military Simulations,” *SIMULATION*, vol. 80, no. 12, pp. 659–667, Dec. 2004.

[11] B. P. Zeigler and P. E. Hammonds, *Modeling & Simulation-Based Data Engineering: Introducing Pragmatics into Ontologies for Net-Centric Information Exchange*, 1 edition. Burlington, MA: Elsevier Academic Press, 2007.

[12] Institute of Electrical and Electronics Engineers and IEEE-SA Standards Board, *IEEE standard for modeling and simulation (M & S) high level architecture (HLA) framework and rules*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010.

[13] Asunción Gómez-Pérez, Mariano Fernández-López, and Oscar Corcho, *Ontological Engineering*. London: Springer-Verlag, 2004.

[14] A. C. Böhm, H. P. Leone, and G. P. Henning, “A Supply Chain Ontology Conceptualization with Focus on Performance Evaluation,” in *Proceedings of the Tenth International Conference on Enterprise Information Systems*, Portugal, 2008, vol. ISAS-2, pp. 402–409.

[15] Supply Chain Council, *SCOR supply chain operations reference model*. The Supply Chain Council, 2012.

[16] Institute of Electrical and Electronics Engineers and IEEE-SA Standards Board, *IEEE recommended practice for distributed simulation engineering and execution process (DSEEP)*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.

[17] M. C. Suárez-Figueroa, A. Gómez-Pérez, and M. Fernández-López, “The NeOn Methodology for Ontology Engineering,” in *Ontology Engineering in a Networked World*, M. C. Suárez-Figueroa, A. Gómez-Pérez, E. Motta, and A. Gangemi, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 9–34.

[18] Karin Koogan Breitman, Marco Antonio Casanova, and Walter Truszkowski, “Semantic Web: Concepts, Technologies, and Applications,” *Computer*, vol. 40, no. 7, pp. 84–84, Jul. 2007.

Ontología para la gestión unificada de variantes y versiones de productos

Sonzini María Soledad[1,2], Vegetti Marcela[1]

[1] INGAR, Instituto de Desarrollo y Diseño, Avellaneda 3657, Santa Fe, Arg.
[2] Universidad Nacional de La Rioja, Luis M. de la Fuente S/N, La Rioja, Arg.
[1]{ssonzini, mvegetti}@santafe-conicet.gob.ar

Resumen. El objetivo de este trabajo es presentar una ontología para gestionar la variación temporal de una familia de productos a través de versiones. La propuesta permite identificar los puntos variantes, la causa, el tiempo de validez y el control de la propagación/ impacto de los cambios. Es una ontología genérica que puede ser integrada con distintos modelos de representación de variantes de productos. A fin de validar la propuesta, se muestra la integración de la ontología de versiones propuestas con la ontología PRONTO (PRoduct ONTOlogy) [1] para la gestión de variantes de familias de productos.

Palabras Claves: Variabilidad, Ontología, Versiones, Familia de productos.

1 Introducción

La importancia de gestionar la información de los productos en todas las fases de su ciclo de vida, está en la ocurrencia de un evento de cambios en una determinada etapa, el cual podría propagarse y afectar la consistencia e integridad de la información en otras etapas. Pohl y colab. en [2], sostienen que es fundamental hacer una distinción entre variabilidad en el tiempo y variabilidad en el espacio. La primera de ellas se define como "la existencia de diferentes versiones de un producto que es válido en diferentes tiempos", denotando su evolución. Por el contrario, la variabilidad en el espacio se define como "la existencia de un producto en diferentes formas en un mismo tiempo". Esta dimensión abarca de manera simultánea el uso de diferentes variantes de productos que coexisten en un mismo instante de tiempo. Es importante mencionar que los métodos utilizados actualmente en la gestión de variabilidad espacial, no pueden aplicarse del mismo modo para la gestión de variabilidad temporal. Por esto, surge la necesidad de definir un mecanismo apropiado para administrar los cambios en el tiempo y que pueda ser aplicado conjuntamente con los modelos de representación de variantes existentes. De esta manera se podría gestionar simultáneamente ambos tipos de variabilidad.

Un concepto primordial para este trabajo, es el concepto de "ontologías", que se han propuesto como una herramienta de integración semántica en el contexto de la Web Semántica [3]. Una ontología es un modelo formal que representa explícitamente el conocimiento consensuado de un dominio [4]. Es por ello, que las

ontologías se definen para establecer un vocabulario común, sin ambigüedades entre diferentes áreas de una misma organización o entre organizaciones diferentes.

Con el fin de contar con un modelo formal para la gestión integrada de variantes y versiones, así como un vocabulario común para la representación de los cambios que modifican la información de productos durante su ciclo de vida, este artículo propone una ontología, desarrollada en OWL[1]. La propuesta define conceptos genéricos, que pueden ser especializados utilizando entidades de modelos de gestión de variantes existentes. En particular, este trabajo muestra cómo el modelo propuesto puede extenderse con conceptos de la ontología de productos PRONTO, para gestionar de manera conjunta las variantes y las versiones. Asimismo, se presenta un conjunto de reglas, a través del lenguaje SWRL (Semantic Web Rule Language)[2], que permiten inferir nuevo conocimiento. El artículo se organiza de la siguiente forma: la Sección 2 introduce el estado del arte acerca de la gestión de variabilidad en las dos dimensiones de mencionadas. En la sección 3, se presenta el modelo conceptual genérico para gestionar la variabilidad temporal, su implementación en OWL y la definición de un conjunto de reglas de inferencia. La Sección 4 introduce un caso de estudio sencillo a fin de validar la propuesta. Finalmente, se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2 Gestión de variabilidad

En diferentes investigaciones se ha tratado el tema de la variabilidad de familias de productos, sin embargo aún existen cuestiones sin resolver, tal como la gestión de dependencias entre puntos de variación y variantes. Esta situación ha impulsado algunos estudios sobre las relaciones que existen (no siempre explícitas) entre los diferentes elementos afectados (puntos de variación) a lo largo del ciclo de vida de un producto. Sin embargo, a pesar de que existen diversas propuestas para el manejo de las variabilidades en el espacio y en el tiempo, no se ha encontrado soluciones que aborden simultáneamente estas dos problemáticas.

Existe un conjunto de propuestas que se concentran en la gestión de la variabilidad temporal de conjuntos de datos de familias de productos en el dominio de la industria de software. Entre estas investigaciones, Männisto [5] propone una metodología para modelar la evolución de familias de productos, incluyendo los aspectos temporales y los mecanismos necesarios para la representación de datos. Estublier y Casallas en [6], introducen tres dimensiones ortogonales para la gestión de versiones: histórica, lógica y cooperativa; haciendo referencia a la evolución de un objeto en el tiempo, la coexistencia de múltiples variantes de un objeto y la cooperación con actividades de forma concurrente en un mismo instante de tiempo. Sjoberg [7] sostiene que para obtener herramientas sofisticadas y poder predecir las consecuencias de los cambios, es necesario identificar un conjunto de cuestiones, tales como: que objetos fueron modificados, en qué instante de tiempo ocurre, cómo fueron cambiados estos objetos

[1] http://www.w3.org/2007/09/OWL-Overview-es.html
[2] http://www.w3.org/Submission/SWRL/

y de qué modo se registra este acontecimiento. En cuanto a la variabilidad en el espacio, es posible encontrar propuestas tanto en dominios relacionados con la manufactura como en la industria del software. Por cuestiones de espacio, en este artículo se introducirán sólo los conceptos de PRONTO [1]. PRONTO es una ontología que permite representar datos de productos en diferentes niveles de abstracción y en distintos dominios de la industria. Para ello define un modelo conceptual [3] que describe dos jerarquías: la jerarquía estructural (SH - Structural Hierarchy) para representar la información concerniente a las partes que participan en la manufactura de un producto final, y la jerarquía de abstracción (AH - Abstraction Hierarchy) que permite la representación de información no estructural de productos en diferentes niveles de abstracción. La AH consta de 3 niveles: Familia (*Family*), Conjunto de Variantes (*VariantSet*) y Producto (*Product*), los cuales se relacionan entre sí mediante la asociación "*memberOf*". La SH considera dos tipos de relaciones de estructuras, que se especializan en "*componentOf*", para aquellas estructuras que relacionan al producto con sus partes componentes, y "*derivateOf*", para aquellas estructuras que enlazan al producto con sus derivados constituyentes. Es importante aclarar que existe una SH para cada uno de los niveles de la AH y las relaciones que la constituye se infieren a partir de las entidades y relaciones definidas de manera explícita en PRONTO. A continuación se introducen brevemente los mismos.

Una familia representa un conjunto de productos que son similares y puede ser simple (*SFamily*), o compuesta (*CFamily*). Esta última tiene al menos una estructura (*Structure*) asociada, que puede ser: de composición (*CStructure*) o de descomposición (*DStructure*). Los componentes de una *CStructure* y los derivados de una *DStructure* se asocian a dicha estructura por medio de dos tipos de asociaciones: *CRelation* y *DRelation*, respectivamente. En ambos casos, estas relaciones están vinculadas con las cantidades de cada componente o derivado que se necesitan o derivan de la estructura involucrada, a través de las asociaciones *quantityPerUnit* y *productionFactor* [3]. Por su parte, el nivel de conjunto de variantes modela un subconjunto de miembros de una familia que comparten una estructura común y/o tienen características similares. Un conjunto de variantes puede ser simple (*SVariantSet*) o compuesto (*CVariantSet*) dependiendo de si es miembro de una familia simple o compuesta. Un Conjunto de Variantes compuesto, se asocia a la estructura de la familia que es compartida por todos los miembros del conjunto por medio de la relación *Has* y puede definir cambios (*ChangeSet*) sobre la misma. Cada uno de estos cambios, se aplican a una relación de la estructura (*affectedRelation*). Existen diferentes tipos de cambios que pueden aplicarse. Su descripción está fuera del alcance de este trabajo. Para más detalles sobre los mismos ver [1].

El nivel más bajo de la AH, el nivel de producto, representa productos que tienen existencia física. Del mismo modo que los niveles anteriores, un producto puede ser simple (*SProduct*) o compuesto (*CProduct*). En este último caso, la relación *ChosenProduct* permite identificar los componentes o derivados concretos de un *CProduct*. A fin de controlar la construcción de jerarquías estructurales válidas, PRONTO especifica tres tipos de restricciones (*FRestriction*, *VSRestriction*,

[3] Ver el modelo conceptual en el repositorio: https://sites.google.com/site/ontoversioningrepository/pronto---product-ontology

PRestriction) que permiten limitar las entidades que deben o no pueden estar juntas en una misma SH en cada uno de los niveles propuestos.

3 Ontología de Versiones

En la Fig. 1 se introducen los conceptos fundamentales de la ontología de versiones propuesta. Uno de estos es el concepto de *ProductConcept*, que representa el elemento cuyas versiones se van a gestionar. El conjunto de versiones es representado con el concepto de *History*. Este concepto mantiene las versiones bajo la forma de una secuencia expresada mediante las relaciones *firstVersion* y *previous*, las cuales denotan la evolución en el tiempo y permiten reconstruir la versión actual de un producto a partir de las sucesivas versiones. La relación *firstVersion* indica la versión inicial, y cada versión (excepto la primera), es relacionada con su predecesora a través de la asociación *previous*. Una versión (*Version*) representa la configuración del elemento en un período de tiempo en el cual ésta es válida. Este período, abarca desde el instante en que se crea la versión (indicado por *DateTime*), hasta el instante en el que se crea la siguiente versión. El concepto de *Specification* representa el conjunto de información acerca de las causas que motivaron la generación de la versión, las cuales podrían ser una actualización tecnológica, nuevos requerimientos de los usuarios, modificaciones legales, etc. Además, mediante este concepto, es posible registrar información acerca del responsable que registra la nueva versión.

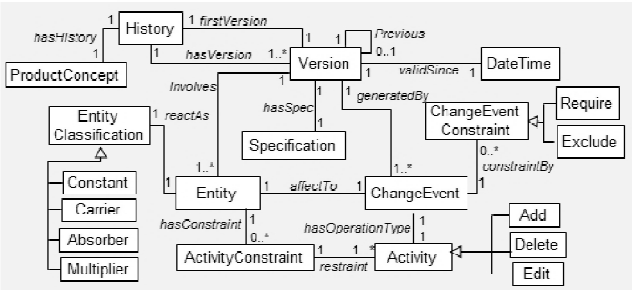


Fig. 1. Modelo Conceptual para la gestión de variabilidad temporal

El origen de una versión está dado por la ocurrencia de un evento de cambio, el cual se representa mediante el concepto de *ChangeEvent* y se vincula a ésta a través de la relación *generatedBy*. Los eventos de cambios afectan a una entidad (*Entity),* a través de una actividad (*Activity*). Una *Entity* es un concepto abstracto que debe ser extendido para representar los elementos de un modelo de productos específico que serán afectados por los cambios. Es decir, una entidad podría ser una relación, un atributo, una restricción, u otro elemento del modelo de variabilidad espacial de productos que es extendido.

En el modelo propuesto, las actividades que generan cambios son: el agregado (*Add*) y la eliminación (*Delete*) de un elemento, así como la modificación (*Edit*) de

atributos. Dependiendo del dominio de aplicación, no todas las entidades pueden ser afectadas por todas las clases de actividades. Por tal motivo, se define el concepto de *ActivityConstraint,* el cual se vincula a una entidad mediante la relación *hasConstraint* y permite restringir las operaciones *Add*, *Delete* o *Edit* que puede aplicarse sobre la misma.

En el contexto de la información de familias de producto, una entidad forma parte de una estructura y un cambio en ella podría afectar a otras entidades de la estructura, produciéndose una serie de nuevos eventos de cambios, también conocida como propagación de cambios. Para controlar este efecto, se introduce el concepto de *ChangeEventConstraint*, el cual especifica las restricciones asociadas a las reacciones de los cambios, es decir: si la ocurrencia de un evento de cambio requiere (*Require*) o no (*Exclude*) que se produzca un nuevo evento de cambio.

Considerando el impacto que tiene un evento de cambio sobre una entidad específica, el modelo conceptual considera la clasificación de entidades (*EntityClassification*) introducida por Ecker y colab. en [8], donde una entidad puede clasificarse como: i) Absorbente (*Absorber*), si absorbe un número de cambios mayor de los que pueden generar y transmitir; ii) Portadora (*Carrier*), cuando puede absorber el mismo número de cambios que el que transmite a otras entidades; iii) Multiplicadora (*Multiplier*) si genera un número de cambios mayor al número de cambios que puede absorber; y iv) Constante (*Constant*), si no absorbe ni transmite nuevos eventos de cambio.

En el ámbito de la industria, se requiere una gestión eficiente de los cambios con el fin de predecirlos y evitar que impacten de forma negativa en los costos, tiempos o recursos asignados durante el proceso de fabricación de un producto. Por esta situación, se considera que los conceptos descriptos permiten responder a una serie de preguntas, tales como: ¿Qué elementos fueron afectados en la nueva versión?, ¿Cómo se vieron afectados estos elementos?, ¿Cuándo comienza a ser válida la nueva versión?, ¿Por qué se realizaron los cambios?, ¿Cómo se registran estos eventos?, ¿Cómo reacciona una entidad ante un evento? Y ¿Qué nuevos eventos se generan a partir de ésta última?

La propuesta de este trabajo, es un modelo genérico donde los conceptos *ProductConcept*, *ChangeEvent*, *Entity* y *ActivityConstraint*, pueden ser extendidos por los modelos de gestión de variabilidad espacial. De este modo, se obtiene la gestión simultánea de las dimensiones de variabilidad espacial y temporal de una Familia de Productos. La ontología propuesta se ha implementado en lenguaje OWL mediante la herramienta Protégé en su versión 5.0. Inicialmente, se definió un namespace con el prefijo *ovm,* para contener todos los identificadores únicos de los elementos de la ontología. Una vez definido el espacio de nombres, se identificaron todos los conceptos y se clasificaron para organizarlos en una estructura jerárquica, Para cada entidad se especifican un conjunto de expresiones (axiomas) para verificar que la información del dominio que representa, sea consistente y correcta, tal como: "una entidad *ProductConcept* debe estar asociado a una entidad *History*". Seguido de esta clasificación, se definieron los tipos de datos asociados a cada entidad, y las propiedades que vinculan los términos de un dominio con los términos de un rango.

Con el fin de definir el comportamiento, la semántica de las relaciones e inferir nuevo conocimiento por medio de la deducción, se definió un conjunto de reglas SWRL. Una regla SWRL tiene dos partes, el antecedente y el consecuente. En este sentido, si todos los conceptos atómicos en el antecedente de una regla son verdaderos, entonces la consecuencia debe ser verdadera también. En la Fig. 2, se ilustran algunas reglas para inferir nuevo conocimiento, tal como: clasificar una entidad en base a su reacción ante la ocurrencia de un evento de cambio que la afecta (Reglas 2 y 3)[4], conocer qué entidades están involucradas en una versión (Regla 4), o inferir la propiedad *hasVersion* a partir de la propiedad *firstVersion* (Regla 1).

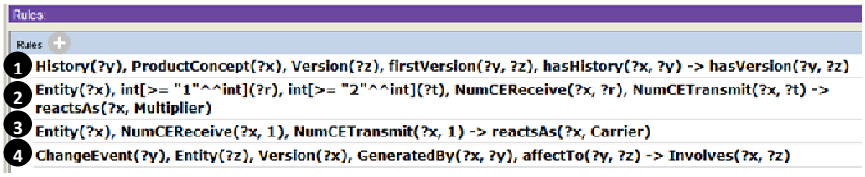


Fig. 2. Reglas de Inferencia en SWRL

Una vez que la información acerca del cambio es capturada y formalizada, es posible formular consultas para obtener y manipular datos almacenados en un formato de tripleta por medio de la utilización de un lenguaje de consultas SPARQL[5]. Este lenguaje permite responder el conjunto de preguntas mencionado los párrafos anteriores, proporcionando un conocimiento apropiado para la gestión de cambio dentro de la información de una familia de producto durante su ciclo de vida. Estas consultas se describen y se demuestran en el caso de estudio de la siguiente sección.

4 Gestión de versiones de la familia de productos *PhoneSE*

Para validar la propuesta se extiende la ontología de versiones en PRONTO, tomando como base, un sencillo ejemplo acerca de un producto ficticio basado en la telefonía celular, con el objetivo de representar los eventos de cambios y la propagación de los mismos.

Para la fabricación de un teléfono celular, se requiere una configuración adecuada para el proceso productivo, generada durante la etapa de diseño. La configuración se integra a partir de varias partes componentes del producto. Para simplificar la explicación se consideran sólo 4 componentes: procesador, sistema operativo, cámara digital lateral y flash. De este modo, la versión inicial de la familia de productos denominada *PhoneSE*, se compone de un procesador chipset Qualcomm msm 8227 CPU Snapdragon dual-core 1Ghz, una cámara digital lateral 5Mp res 2592x1944, un Flash LED con 0.5 d/s (disparos por segundo) y un sistema operativo denominado SESO v.2.3. Por cuestiones de espacio, para analizar el impacto y la propagación de

[4] Ver reglas de inferencia en: https://sites.google.com/site/ontoversioningrepository/ontology-versioning

[5] http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/

cambios, este caso se basa en un único requerimiento que surgen durante la etapa de diseño: "Incorporar una cámara digital frontal de 2Mp res 1733x1155".

A partir de esta breve descripción, los cambios en una familia de productos puede ocurrir en cualquiera de los niveles propuestos por PRONTO: *Family*, *VariantSet* y *Product*. Dado que en el nivel más abstracto, las modificaciones están dadas en la estructura de los productos que forman la familia. En el nivel intermedio pueden ser cambiados la selección de componentes, así como las restricciones entre conjuntos de variantes, y en el nivel más bajo puede verse afectada la especificación de los productos concretos. Sin embargo, un cambio en un cierto nivel, puede generar nuevos cambios en otro nivel. Por esto, se propone la especialización de la entidad *ProductConcept* en los niveles: *Family*, *VariantSet* y *Product*, y para cada uno de estos niveles, se identifican los elementos susceptibles de ser modificados y se representan a través de la especialización de los conceptos *Entity*, *ChangeEvent* y *ActivityConstraint* [6]

Así, por ejemplo en el nivel de Familia, la entidad *Entity* se especializa en *CRelation/DRelation*, *FRestricion* y *QuantityPerUnit/ ProductionFactor*. Estas entidades son afectadas respectivamente por las especializaciones de *ChangeEvent FRestrictionCE*, *CRelationCE/ DRelationCE* y *QuantityPerUnitCE*. En el nivel de familia, se definen un conjunto de restricciones que especifican que sólo las actividades *Add* y *Delete,* pueden afectar a *FRestriction* (*FRestrictionAC*) y a una *CRelation* (*CRelationAC*). En contraste, *QuantityPerUnit/ ProductionFactor* pueden ser afectados únicamente por un tipo de operación *Edit* (*QuantityPerUnitAC*).

En el nivel de conjunto de variantes (*VariantSet*), se identifica las entidades *VSRestriction* y *Change* como especializaciones de *Entity*. Estas entidades son afectadas respectivamente por los siguientes eventos de cambios: *VRestrictionCE, FamilySpecificationCE, FamilyRemovalCE y QuantityChangeCE*. Además, cada entidad tiene asociada una restricción que controla el tipo de operación que puede afectarla, tal como: *VSRestrictionAC, QuantityChangeAC*, *FamilySpecificatonAC y FamilyRemovalAC*.En el nivel de *Producto,* las entidades que pueden ser modificadas son: *PRestriction* y la relación *chosenProduct,* que se reifica en una entidad, dado que es susceptible a los cambios en el modelo. Estas entidades pueden ser afectadas por los eventos de cambio *PRestrictionCE* y *ChosenProductCE,* respectivamente. Asimismo, estas entidades están limitadas por las restricciones *PRestrictionAC* y *ChosenProductAC*. En la Fig. 3.a se representa el ejemplo descripto, instanciando el modelo de PRONTO, donde la familia de productos *PhoneSE* posee una estructura de composición (*SEStructure),* la cual se vincula con sus partes componentes mediante instancias de la clase *CRelation.* Para facilitar la comprensión, únicamente se muestra el componente *Processor* con la relación de composición *CR1* y su atributo *quantityPerUnit* (*CR1Value*). En el nivel de conjunto de variantes se identifica la variante *SEMH,* miembro de la Familia *PhoneSE,* que especifica su estructura de composición a través de la relación *has. SEMH* restringe los conjuntos de variantes que pueden usarse como componentes a los conjuntos de variantes: *Qualcomm msm 8227*, *Lateral Camera 5Mp, FlashLED* y *SESO,* miembros de *Processor, Camera, CameraFlash* y *SO,* respectivamente. En la figura se representa únicamente el

[6] Ver diagrama en el repositorio en:
https://sites.google.com/site/ontoversioningrepository/ontology-versioning

conjunto de variante miembro de *Processor* (*Qualcomm msm 8227*). A su vez, en el nivel de Producto, se identifica al producto concreto *SEMH401* miembro de *SEMH*, del cual infiere la estructura de composición y selecciona como componentes concretos del mismo a los siguientes productos: *Snapdragon dual-core 1GHz, Camera lateral 5Mp res 2592x1944px, Flash Led 0.5d/s* y *SESO v2.3*, miembros de los conjuntos de variantes antes mencionados. Este conjunto de instancias se traduce a individuos, poblando la ontología de versiones, las cuales constituyen las versiones iniciales de los 3 niveles: *PhoneSEv1, SEMHv1, SEMH401v1.*

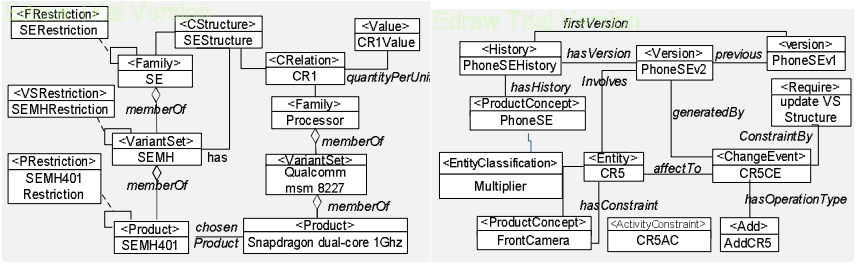


Fig. 3. a) Representación en PRONTO. b) Instanciación de la ontología de versiones.

Para dar respuesta al requerimiento mencionado, en la Fig. 3.b se representan los individuos que intervienen en la gestión del cambio que afectan a la familia de productos. Este requerimiento implica un evento de cambio (*CR5CE*), para agregar (*AddCR5*) una relación de composición *CR5* que vincule al nuevo componente *FrontCamera.* Para esta situación se genera una nueva versión de la familia (*PhoneSEv2*) formando parte del historial *PhoneSEHistory,* y se vincula con su versión previa *PhoneSEv1*. El evento de cambio *CR5CE* posee una restricción asociada (*updateVSStructure*) para indicar que una nueva versión de conjunto de variante debe inferir la estructura generada para incluir el nuevo componente. Dada la situación anterior, se genera una nueva versión de *SEMH (SEMHv2)* para incluir el componente *FrontCamera 2Mp,* mediante la selección de la nueva estructura de la familia a la que pertenece. La nueva versión del conjunto de variantes*SEMHv2*, es compatible con la versión inicial del producto *SEMH401* (*SEMH401v1).* Sin embargo, para incluir el componente *FrontCamera 2Mp 1733x1155px*, es necesario inferir la nueva estructura a nivel de producto, donde la relación *chosenProduct (chosenProduct5)* asocia el nuevo componente. Este evento, denominado *chosenProductCE5*, es el responsable de generar una nueva versión de producto *SEMH401v2*. Para esta situación el cambio impacta en el nivel de familia en la entidad *CR5*, y ésta reacciona generando un número mayor de cambios de los que recibe, los cuales se propagan a los niveles inferiores y se clasifica como una entidad multiplicadora de eventos. Esta clasificación se infiere de la regla 2 de la Fig. 2. Sobre el conjunto de información que representa la ontología de versiones, es posible ejecutar una seria de consultas en SPARQL, para obtener las respuestas de las preguntas de la sección 3. En la Tabla 1 se presentan un conjunto reducido de consultas y sus resultados, con respecto a la nueva versión que se generó de la familia

PhoneSE. Más consultas pueden verse en el repositorio[7]. De este modo, es posible conocer los componentes afectados en la nueva versión, cuál fue la causa del cambio, como éste afectó a la entidad modificada y la reacción de esta última, en cuanto a si absorbió, propagó o no el evento de cambio.

Table 1. Consultas en SPARQL

Pregunta	¿Qué elementos fueron afectados en la versión PhoneSEVersion2?
Consulta	`SELECT ?entity WHERE { ovm:PhoneSEVersion2 ovm:Involves ?entity }`
Resultado	Entity CR5
Pregunta	¿Por qué se aplicaron los cambios en la versión PhoneSEVersion2?
Consulta	`SELECT ?specification ?description WHERE { ?specification ovm:Description ?description. ?specification ovm:isSpecificationOf ovm:PhoneSEVersion2 }`
Resultado	specification description SpecVersion2 "Se agrega la Familia FrontCamera como componente de la estructura SEStructure"
Pregunta	¿De qué modo se afectaron a los elementos en la versión PhoneSEVersion2?
Consulta	`SELECT ?change ?activity ?entity ?date ?datetime WHERE { ovm:PhoneSEVersion2 ovm:GeneratedBy ?change. ?change ovm:affectTo ?entity. ?change ovm:hasOperationType ?activity. ovm:PhoneSEVersion2 ovm:ValidSince ?date.?date ovm:datetime ?datetime } ORDER BY ASC (?date)`
Resultado	change activity entity date AddCR5CE Add CR5 DTVersion2
Pregunta	¿Cómo se registran las versiones de la Familia PhoneSE?
Consulta	`SELECT ?productConcept ?history ?version WHERE {ovm:PhoneSE ovm:hasHistory ?history. ?history ovm:hasVersion ?version} ORDER BY ASC (?version)`
Resultado	history version PhoneSEHistory PhoneSEVersion1 PhoneSEHistory PhoneSEVersion2
Pregunta	¿Cómo se clasifica la entidad afectada en la versión PhoneSEVersion2?
Consulta	`SELECT ?change ?entity ?classification WHERE { ovm:PhoneSEVersion2 ovm:GeneratedBy ?change. ?change ovm:affectTo ?entity. ?entity ovm:reactsAs ?classification. }`
Resultado	change entity classification AddCR5CE CR5 Multiplier

5 Conclusión

La propuesta de este trabajo se basa en el uso de ontologías para tratar la variabilidad temporal de modelos de producto, en término de versiones, manteniendo su coherencia y consistencia. Diferentes modelos de representación de familias de productos, que manejen la variabilidad en el espacio, pueden ser extendidos por esta propuesta, y así gestionar los cambios durante su ciclo de vida. En base a esto, el

[7] https://sites.google.com/site/ontoversioningrepository/ontology-versioning

desarrollo de la propuesta de este trabajo permitió representar la gestión de versiones de las familias de productos, extendiendo a PRONTO, junto a la definición de reglas de inferencia SWRL que permitieron inferir nuevo conocimiento sobre un caso concreto. Además, se escribieron consultas en SPARQL dando como resultado información respecto a los cambios, al registro de versiones y a la reacción de los elementos afectados por los cambios. De esta forma se logra validar la propuesta y, desde una perspectiva funcional, se logra extender la representación de información de familia de productos. Con el fin de mejorar la interpretación y la visualización de imágenes, se generó un repositorio de datos para acceder a más detalles del contenido de este trabajo.

A futuro, se pretende extender la propuesta teniendo en cuenta la propagación de los cambios en diferentes niveles de PRONTO. Asimismo, se realizarán actividades para complementar la validación de la propuesta y se trabajará en la identificación de patrones de comportamientos repetitivos a fin de lograr predecir las consecuencias de los cambios para una gestión eficiente de estos.

6 Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por estas instituciones: CONICET, Univ. Tecnológica Nacional (PID 25-O156 y PID 25-O144) y Universidad Nacional de La Rioja.

Referencias

1. M., Vegetti, H., Leone, H., Henning, G.: PRONTO: An ontology for comprehensive and consistent representation of product information. Engineering Applications of Artificial Intelligence 24 (8), pp. 1305-1327. (2011)
2. Pohl K., Bockle G., Van Der Linden F.: Software Product Line Engineering. Foundations, principles, and Techniques. ISBN-10 3-540-24372-0 Springer Berlin Heidelberg New York. (2006)
3. Shadbolt, N., W. Hall and T. Berness-Lee, (2006). The Semantic Web Revisited. IEEE Intelligent Systems, May-Jun.
4. Brandt, S.C., J. Morbach, M. Miatidis, M. Theißen, M. Jarke and W. Marquardt, 2008. An Ontology-Based Approach to Knowledge Management in Design Processes. Computers and Chemical Engineering, 32, 320-342.
5. Männistö T, A Conceptual Modelling Approach to Product Families and their Evolution. Acta Polytechnical Scandinavica, Mathematics and Computing Series. No. 106, ISSN 1456-9418.(2000)
6. Estublier J. and Casallas R. Three dimensional versioning. ICSE SCM-4 and SCM-5 Workshops Selected Papers. Software Configuration Management. Volume 1005, issue 1995, pp 118-135.ISBN 978-3-540-60578-2 (2005)
7. Sjoberg D. Managing Change in Information Systems: Technological Challenges. Departament of Informatics, University of Oslo. N-0316 Oslo, Norway. (1995)
8. Ecker C., Clarkson J.P., Zanker W. Change and Customization in complex engineering domains. Research in Engineering Design. Volume 15, Issue 1 pp 1-21. (2004)

Redefinition and Statistical Analysis of Measures for Evaluating the Quality of Ontologies

Melina Tibaldo[1], Alexia Wilkinson[1], Ma. Laura Taverna[1], Mariela Rico[1], and Ma. Rosa Galli[2]

[1] Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería en Sistemas de Información (CIDISI) - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe, Lavaise 610 - S3004EWB - Santa Fe - SF - Argentina
mrico@frsf.utn.edu.ar

[2] INGAR-UTN-CONICET, Avellaneda 3657, S3002GJC Santa Fe, Argentina

Abstract. OntoQualitas is a framework to evaluate an ontology whose purpose is the interchange of information between different contexts. However, the framework does not propose acceptance thresholds of the measure values. In this paper, measures proposed in this framework are redefined in order to improve their usefulness in assessing the quality of such ontologies. These measures were calculated semi-automatically on a set of ontologies and its results were described by means of a statistical analysis as a first step to the definition of their acceptance thresholds.

Keywords: ontology quality, measure, statistical analysis

1 Introduction

Even after more than a decade since the emergence of ontologies in Computer Science and with its growing use in different disciplines, standardized methods have not been developed for evaluating their quality [8].

Although methodologies, methods, techniques, and software tools to support the ontology building process were proposed, ontology evaluation still plays only a passive role in ontology engineering projects [17]. In order to assess the ontology quality, different works have emerged depending on the kind of ontologies being evaluated and for what purpose [1, 3, 5–7, 9, 15, 20–22]. These works present different quality measures and evaluate some ontologies quantitatively. However, specific studies have not been found about the suitable values of these measures, their acceptance thresholds, and their impact on the quality of the evaluated ontologies.

Quality is not a property of something, but a judgment, so that should be in relation to some purpose [6]. While issues such as orphan classes or consistency in naming are important, the purpose for which the ontology is developed should guide the evaluation of quality thus contributing to the enrichment of its quality. The set of measures and their corresponding weights should be in relation with the purpose of the ontology [15].

A proposed framework to evaluate an ontology considering its specific purpose is OntoQualitas, which includes known measures and new measures to evaluate the quality of an ontology whose purpose is the interchange of information in a collaborative business processes environment [15]. To this aim, a set of requirements is identified that the ontology should fulfill and, associated with them, it is identified a set of questions that reflect specific aspects relevant to the evaluation of ontology. For each question, appropriate measures, their ranges of possible values, and the optimal values are defined. However, the framework does not propose acceptance thresholds of the measure values.

In order to advance in the definition of these thresholds and their impact on the ontology quality, the definition of the proposed measures should be analyzed and, if necessary, modified to ensure their homogeneity. Then, it is necessary to calculate the measures on a set of ontologies and conduct a descriptive statistical analysis of the redefined measures in order to study their behavior.

This paper presents the reformulation of some of the measures outlined in OntoQualitas, resulting in measures that will be more convenient for evaluation of the ontology quality. In addition, a statistical study of a set of ontologies is shown, to whom the reformulated measures were calculated.

The paper is organized as follows: Section 2 describes the main characteristics of the OntoQualitas framework; Section 3 presents the reformulated measures; Section 4 presents the results of the preliminary analysis of data. Results are discussed in Section 5, which also includes the conclusions of this work.

2 OntoQualitas

OntoQualitas is a framework to evaluate the quality of an ontology whose purpose is the interchange of information between different contexts [15]. It is structured from an overall requirement imposed on ontologies regarding its content and structure, which is that the ontology should allow the interchange of information between different contexts without imposing a global meaning of such information to all involved contexts. From this overall requirement, three specific requirements are derived: (i) the representation of information interchanged should be formal, (ii) only the information strictly necessary for the interchange must be represented, and (iii) the representation must allow a correct interpretation of the interchanged information in all involved contexts.

The second requirement aforementioned has two aspects: completeness and conciseness. The third requirement has three aspects: semantic correctness, syntactic correctness, and representation correctness, which is assessing the quality of mappings of entities, relations, and features into the elements of the ontology.

OntoQualitas specifies questions that help addressing relevant aspects for ontology evaluation. For each question, appropriate measures are associated. Some of them have been proposed with the objective of assessing the quality of ontologies from a quantitative perspective [3, 5, 6, 20, 21]; others were proposed with the aim of evaluating the mapping between domain entities, its relationships and features, and the elements used for its representation [13].

3 Analysis of Measures

In OntoQualitas, the value of some measures is provided in the range $[0, 1]$, others are provided in the range $[0, n]$, some optimal values are 1, and others are 0. In order to quantify the different quality aspects and to compare values among ontologies, it is necessary to homogenize the value ranges and optimal values of the measures associated with each aspect. As a consequence, a first activity was to modify the definition of some measures to ensure that all have the same scale ($[0, 1]$) and optimal value (1). Additionally, some measures can only be calculated if the considered ontology has the corresponding characteristics. These situations are explicitly identified in Tables 1 to 5.

Completeness (Table 1) refers to the extension, degree, amount or coverage to which the information in a user-independent ontology covers the information of the real world [11].

Concise (Table 2) refers to whether an ontology does not store any unnecessary or useless definitions, if explicit redundancies do not exist between definitions, and redundancies cannot be inferred using other definitions and axioms [11].

Syntactic correctness (Table 3) tries to evaluate the quality of the ontology according to the way it is written, i.e. the correctness and breadth of syntax used [5].

Semantic correctness (Table 4) deals with the vocabulary used to represent entities, relations, and features, and the correctness of the representation of the interchanged information in the ontology.

Representation correctness (Table 5) is related to the quality of mappings of entities, relations, and features into the elements of the ontology evaluated.

4 Results of Preliminary Analysis of Data

The results of this preliminary analysis are presented according to the second and third requirements. Since the considered ontologies are formalized in OWL2, the representation of information interchanged is formal, thus achieving the first requirement.

In order to evaluate reformulations to the OntoQualitas measures, ontologies for information interchange between different contexts were needed. A set of ontologies created by students from the course "Development of ontology-based information systems" have been developed from the same specific instructions. First, ontologies (called "base") were developed by using an ontology learning technique. Then, the representation of entities, their relationships and features were enriched, using a proposed method [14]. These ontologies were called "enriched". Measures were calculated semi-automatically and the instructions were the frame of reference.

In the base ontologies, certain measures could not be calculated due to lack of the corresponding characteristics. Therefore, in the subsequent statistical analysis, the amount of data varies.

Table 1. Completeness measures

Measure
Necessary and sufficient conditions [11] $NSC = NSLC/LC$ $NSLC$: Number of leaf classes with at least one set of necessary and sufficient conditions LC: Number of leaf classes The ontology should have at least a class hierarchy, without considering the root class (`Thing`)
Existential and universal restrictions [11] $EUR = EURP/URP$ $EURP$: Number of properties with existential and universal restrictions along the same property URP: Number of properties with universal restrictions The ontology should have at least a property with an universal restriction
Domains and ranges of relations [11] $DRR = NHRDR/NHR$ $NHRDR$: Number of non-hierarchical relations with domain and range specified NHR: Number of non-hierarchical relations The ontology should have at least an object property defined
* No omission of subclass partition $NOSP = SPD/CSC$ SPD: Number of subclass-partitions defined on classes with the corresponding disjoint constraint CSC: Number of classes with a set of direct subclasses identified The ontology should have at least a class hierarchy, without considering the root class (`Thing`)
* No omission of exhaustive subclass partition $NOESP = CCA/CDSC$ CCA: Number of classes with a set of disjoint direct subclasses and a covering axiom $CDSC$: Number of classes with a set of disjoint direct subclasses identified The ontology should have at least a class hierarchy, with a set of disjoint direct subclasses
Coverage of classes [12] $Coverage(O_c; F_c) =\mid O_c \cap F_c \mid / \mid F_c \mid$ O_c: Set of classes in the ontology F_c: Set of classes in a frame of reference The frame of reference should have at least a class
Coverage of relations between classes [12] $Coverage(O_{rc}; F_{rc}) =\mid O_{rc} \cap F_{rc} \mid / \mid F_{rc} \mid$ O_{rc}: Set of relations between classes in the ontology F_{rc}: Set of relations between classes in a frame of reference The frame of reference should have at least a relation between classes
Coverage of relations between instances [12] $Coverage(O_{ri}; F_{ri}) =\mid O_{ri} \cap F_{ri} \mid / \mid F_{ri} \mid$ O_{ri}: Set of relations between instances in the ontology F_{ri}: Set of relations between instances in a frame of reference The frame of reference should have at least a relation between instances
Coverage of instances [12] $Coverage(O_i; F_i) =\mid O_i \cap F_i \mid / \mid F_i \mid$ O_i: Set of instances in the ontology F_i: Set of instances in a frame of reference The frame of reference should have at least an instance
Coverage of entity features [15] $Coverage(O_{fc}; F_{fc}) =\mid O_{fc} \cap F_{fc} \mid / \mid F_{fc} \mid$ O_{fc}: Set of entity features in the ontology F_{fc}: Set of entity features in a frame of reference The frame of reference should have at least an entity feature
Coverage of dimensions [15] $Coverage(O_{dfc}; F_{dfc}) =\mid O_{dfc} \cap F_{dfc} \mid / \mid F_{dfc} \mid$ O_{dfc}: Set of dimensions used to specify entity contextual features in the ontology F_{dfc}: Set of dimensions used to specify entity contextual features in a frame of reference The frame of reference should have at least a dimension used to specify entity contextual features

* The measure was redefined

Table 2. Conciseness measures

Measure	
* Semantically different classes CSD: Number of classes with the same formal definition as other class in the ontology C: Number of classes in the ontology, without considering the root class (`Thing`) The ontology should have at least a class hierarchy, without considering the root class (`Thing`)	$SDC = 1 - CSD/C$
* Semantically different instances ISD: Number of instances with the same formal definition as other instance in the ontology I: Number of instances in the ontology The ontology should have at least an instance	$SDI = 1 - ISD/I$
* Nonredundant subclass-of relations $RSCR$: Number of redundant subclass-of relations in the ontology HR: Number of hierarchical relations The ontology should have at least a hierarchical relation, without considering the root class (`Thing`)	$NRSR = 1 - RSCR/HR$
* Other nonredundant relations $RNHR$: Number of redundant non-hierarchical relations in the ontology NHR: Number of non-hierarchical relations The ontology should have at least a non-hierarchical relation	$ONRR = 1 - RNHR/NHR$
* Nonredundant instance-of relations $RIOR$: Number of redundant instance-of relations in the ontology IOR: Number of instance-of relations in the ontology The ontology should have at least an instance-of relation	$NRIR = 1 - RIOR/IOR$
Precision of classes [12] O_c: Set of classes in the ontology F_c: Set of classes in a frame of reference The ontology should have at least a class, without considering the root class (`Thing`)	$Precision(O_c; F_c) =\mid O_c \cap F_c \mid / \mid O_c \mid$
Precision of relations between classes [12] O_{rc}: Set of relations between classes in the ontology F_{rc}: Set of relations between classes in a frame of reference The ontology should have at least a relation between classes	$Precision(O_{rc}; F_{rc}) =\mid O_{rc} \cap F_{rc} \mid / \mid O_{rc} \mid$
Precision of entity features [12] O_{fc}: Set of entity features in the ontology F_{fc}: Set of entity features in a frame of reference The ontology should have at least an entity feature	$Coverage(O_{fc}; F_{fc}) =\mid O_{fc} \cap F_{fc} \mid / \mid O_{fc} \mid$
Precision of instances [12] O_i: Set of instances in the ontology F_i: Set of instances in a frame of reference The ontology should have at least an instance	$Precision(O_i; F_i) =\mid O_i \cap F_i \mid / \mid O_i \mid$

* The measure was redefined

Table 3. Syntactic correctness measures

Measure	
Lawfulness [5] Xb: Total breached syntactical rules NS: Number of statements in the ontology The ontology should have at least a statement	$SL = Xb/NS$
Richness [5] Z: Number of syntactic features used in the ontology Y: Number of syntactic features available in the ontology language The ontology language should have at least a syntactic feature	$R = Z/Y$

Table 4. Semantic correctness measures

Measure	
Interpretability [5]	$IN = SW/WCP$
SW: Number of words used to define classes and properties that have at least a sense listed in WordNet WCP: Number of different words used to define classes and properties in the ontology The ontology should have at least a class or property name	
* Clarity	$CL = TN/\sum_i S_i$
TN: Total of class or property names in the ontology that have at least a sense listed in WordNet S_i: Number of word senses for N_i in WordNet, where N_i is the name of the class or property i The ontology should have at least a class or property name that has at least a sense listed in WordNet	
* Non-circularity errors at distance 0	$NCE0 = 1 - Cycles(O;0)/HR$
$Cycles(O;0)$: Number of cycles detected between a class with itself HR: Number of hierarchical relations, without considering the root class (`Thing`) The ontology should have at least a hierarchical relation, without considering the root class (`Thing`)	
* Non-circularity errors at distance 1	$NCE1 = 1 - Cycles(O;1)/HR$
$Cycles(O;1)$: Number of cycles detected between a class and an adjacent class HR: Number of hierarchical relations, without considering the root class (`Thing`) The ontology should have at least a hierarchical relation, without considering the root class (`Thing`)	
* Non-circularity errors at distance d	$NCEd = 1 - Cycles(O;d)/HR$
$Cycles(O;d)$: Number of cycles detected between a class and another at d classes away HR: Number of hierarchical relations, without considering the root class (`Thing`) The ontology should have at least a hierarchical relation, without considering the root class (`Thing`)	
* Subclass partition without common instances	$SPNCI = 1 - SPCI/I$
$SPCI$: Number of instances that belong to more than one subclass of a partition in the ontology I: Number of instances in the ontology The ontology should have at least an instance	
* Subclass partition without common classes	$SPNCC = 1 - SPCC/C$
$SPCC$: Number of classes belonging to more than one subclass of a partition in the ontology C: Number of classes in the ontology, without considering the root class (`Thing`) The ontology should have at least a class, without considering the root class (`Thing`)	
* Exhaustive subclass partition without common instances	$ESPNCI = 1 - ESPCI/I$
$ESPCI$: Number of instances belonging to more than one subclass of an exhaustive partition in the ontology I: Number of instances in the ontology The ontology should have at least an instance	
* Exhaustive subclass partition without common classes	$ESPNCC = 1 - ESPCC/C$
$ESPCC$: Number of classes belonging to more than one subclass of an exhaustive partition in the ontology C: Number of classes in the ontology, without considering the root class (`Thing`) The ontology should have at least a class, without considering the root class (`Thing`)	
* Exhaustive subclass partition without external instances	$ESPNEI = 1 - ESPEI/I$
$ESPEI$: Number of instances of a base class that do not belong to any class of the exhaustive subclass partition of the base class I: Number of instances in the ontology The ontology should have at least an instance	
* The measure was redefined	

Table 5. Representation correctness measures

Measure	
Principle of entities [15] E: number of entities The ontology should have at least an entity	$PE = \sum_k \alpha_k / E$
Principle of intended use of entities [15] U: number of intended uses for all entities The ontology should have at least an intended use for an entity	$PU = \sum_k \alpha_k / U$
Principle of entity relations [15] RE: number of relations identified for all entities The ontology should have at least a relation between entities	$PR = \sum_k \alpha_k / RE$
Principle of simple entity features [15] CS: number of simple entity features identified for all entities The ontology should have at least a simple entity feature	$PCS = \sum_k \alpha_k / CS$
Principle of simple, measurable entity features [15] CM: number of simple, measurable entity features identified for all entities The ontology should have at least a simple, measurable entity feature	$PCM = \sum_k \alpha_k / CM$
Principle of complex entity features [15] CC: number of complex entity features identified for all entities The ontology should have at least a complex entity feature	$PCC = \sum_k \alpha_k / CC$
Principle of common entity features [15] Cc: number of common entity features identified for all entities The ontology should have at least a common entity feature	$PCc = \sum_k \alpha_k / Cc$

$\alpha_k = 0$ if the k element is not represented; $\alpha_k = 0.5$ if the k element is represented in an incomplete form; and $\alpha_k = 1$ if the k element is well represented

4.1 Evaluation of Measures

A statistical treatment of the data was performed in order to highlight the most important quality characteristics of ontologies and synthesize them by a few parameters. A total of 39 measures were calculated semi-automatically to a set of 8 ontologies. InfoStat, Student Version[3], was used to do the statistical analysis of this set of measures. Mean lets see the behavior of each measure on the set of ontologies; position measures, the dispersion of data (deviation); Q1, first quartile; and Q3, third quartile).

Medidas de completitud

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
NSC	6	0,17	0,41	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
EUR	8	0,15	0,35	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
DRR	**8**	**0,63**	**0,41**	**0,00**	**1,00**	**0,00**	**0,82**	**0,87**
NOSP	6	0,09	0,13	0,00	0,30	0,00	0,03	0,19
NOESP	3	0,50	0,50	0,00	1,00		0,50	
Coverage(Oc;Fc)	8	0,22	0,07	0,16	0,36	0,16	0,20	0,24
Coverage(Orc;Frc)	8	0,36	0,23	0,10	0,70	0,10	0,35	0,50
Coverage(Ofc;Ffc)	8	0,02	0,03	0,00	0,07	0,00	0,01	0,04
Coverage(Odfc;Fdfc)	**8**	**0,93**	**0,15**	**0,58**	**1,00**	**0,90**	**1,00**	**1,00**

Medidas de completitud

Table 6. Statistical of completeness measures

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
NSC	6	0,17	0,41	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
EUR	8	0,15	0,35	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
DRR	**8**	**0,63**	**0,41**	**0,00**	**1,00**	**0,00**	**0,82**	**0,87**
NOSP	6	0,09	0,13	0,00	0,30	0,00	0,03	0,19
NOESP	3	0,50	0,50	0,00	1,00		0,50	
Coverage(Oc;Fc)	8	0,22	0,07	0,16	0,36	0,16	0,20	0,24
Coverage(Orc;Frc)	8	0,36	0,23	0,10	0,70	0,10	0,35	0,50
Coverage(Ofc;Ffc)	8	0,02	0,03	0,00	0,07	0,00	0,01	0,04
Coverage(Odfc;Fdfc)	**8**	**0,93**	**0,15**	**0,58**	**1,00**	**0,90**	**1,00**	**1,00**

Medidas de concisión

Table 7. Statistical of conciseness measures

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
SDC	**6**	**0,75**	**0,28**	**0,39**	**1,00**	**0,53**	**0,78**	**1,00**
SDI	**4**	**1,00**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
NRSR	**6**	**1,00**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
ONRR	**7**	**0,86**	**0,38**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
NRIR	**4**	**1,00**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Precision(Oc;Fc)	8	0,33	0,20	0,07	0,57	0,08	0,31	0,50
Precision(Orc;Frc)	8	0,16	0,16	0,02	0,38	0,03	0,07	0,33
Precision(Ofc;Ffc)	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Precision(Oi;Fi)	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Medidas de concisión

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
SDC	**6**	**0,75**	**0,28**	**0,39**	**1,00**	**0,53**	**0,78**	**1,00**
SDI	**4**	**1,00**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
NRSR	**6**	**1,00**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
ONRR	**7**	**0,86**	**0,38**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
NRIR	**4**	**1,00**	**0,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**	**1,00**
Precision(Oc;Fc)	8	0,33	0,20	0,07	0,57	0,08	0,31	0,50
Precision(Orc;Frc)	8	0,16	0,16	0,02	0,38	0,03	0,07	0,33
Precision(Ofc;Ffc)	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Precision(Oi;Fi)	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

[3] http://www.infostat.com.ar/

Regarding completeness (Table 6), only two of the nine measures have a mean greater than 0.6. The measure with the highest mean value is *Coverage of dimensions* ($Coverage(O_{dfc}; F_{dfc})$); 90.0% of ontologies have a value greater than or equal to 0.9, meaning that most of the dimensions used to specify entity contextual features were made explicit in the ontology. Then, *Domains and ranges of relations* (DRR) follows with a mean of 0.63, which determines the proportion of domain and range of the relations and functions exactly and precisely delimited. The frame of reference had no instances. Then, the measures *Coverage of relations between instances* and *Coverage of instances*, not listed in Table 6, could not be calculated.

In regards to conciseness (Table 7), except in *Precision*, all other measures have high values. Half of ontologies have all of instances semantically different and nonredundant instance-of relations (SDI and $NRIR$ are optimal). The other half has no instances. No ontologies with hierarchical cycles and redundant subclass-of relations ($NRSR$ has optimum value in all measures). *Semantically different classes* (SDC) has a mean of 0.75 and 75% of ontologies have a value greater than or equal to 0.53, meaning that more than half of subclasses are defined with different characteristics. 75% of ontologies do not have redundant non-hierarchical relations ($NAVRR$ is optimal).

Correctitud sintáctica

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
SL	8	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
R	**8**	**0,05**	**0,03**	**0,01**	**0,11**	**0,03**	**0,03**	**0,05**

Table 8. Statistical of semantic correctness measures

Correctitud semántica

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
IN	**8**	**0,52**	**0,28**	**0,21**	**0,96**	**0,31**	**0,43**	**0,50**
CL	**8**	**0,34**	**0,14**	**0,13**	**0,52**	**0,15**	**0,40**	**0,40**
NCE0	6	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NCE1	6	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NCEd	6	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SPNCI	4	0,75	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
SPNCC	8	0,96	0,06	0,88	1,00	0,88	1,00	1,00
ESPNCI	4	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ESPNCC	8	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ESPNEI	4	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Correctitud de representación

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
PE	**8**	**0,10**	**0,04**	**0,06**	**0,17**	**0,06**	**0,11**	**0,13**
PU	**8**	**0,90**	**0,09**	**0,80**	**1,00**	**0,83**	**0,88**	**1,00**
PR	8	0,36	0,23	0,10	0,70	0,10	0,35	0,50
PCS	**4**	**0,90**	**0,13**	**0,75**	**1,00**	**0,75**	**0,92**	**1,00**
PCM	4	0,63	0,48	0,00	1,00	0,00	0,75	1,00

In relation to the semantic correctness (Table 8), the measures are mostly high. The taxonomies are well defined, without cycles (*NCE0*, *NCE1*, and *NCEd*), as well as the exhaustive subclass partitions (*ESPNCI*, *ESPNCC*, and *ESPNEI*). By contrast, ontologies are moderately interpretable and unclear; 75% of them have a value less than or equal to 0.5 and 0.4, respectively.

As for syntactic correctness (Table 9), it can be observed that the ontologies are syntactically correct, but the proportion of syntactic features used is very low, despite the development of ontologies supported by tools.

Finally, as to the representation correctness (Table 10), on average, 90% of the intended use and simple features of entities is represented according to its principle. However, only in 10% of cases, on average, the representation of entities is performed through classes of ontology. The measures *Principle of*

Correctitud sintáctica

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
SL	8	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
R	**8**	**0,05**	**0,03**	**0,01**	**0,11**	**0,03**	**0,03**	**0,05**

Correctitud semántica

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
IN	**8**	**0,52**	**0,28**	**0,21**	**0,96**	**0,31**	**0,43**	**0,50**
CL	**8**	**0,34**	**0,14**	**0,13**	**0,52**	**0,15**	**0,40**	**0,40**
NCE0	6	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NCE1	6	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
NCEd	6	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
SPNCI	4	0,75	0,50	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00
SPNCC	8	0,96	0,06	0,88	1,00	0,88	1,00	1,00
ESPNCI	4	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ESPNCC	8	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ESPNEI	4	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Table 9. Statistical of syntactic correctness measures

Correctitud de representación

Variable	*n*	Mean	S.D.	Min	Max	Q1	Median	Q3
PE	**8**	**0,10**	**0,04**	**0,06**	**0,17**	**0,06**	**0,11**	**0,13**
PU	**8**	**0,90**	**0,09**	**0,80**	**1,00**	**0,83**	**0,88**	**1,00**
PR	8	0,36	0,23	0,10	0,70	0,10	0,35	0,50
PCS	**4**	**0,90**	**0,13**	**0,75**	**1,00**	**0,75**	**0,92**	**1,00**
PCM	4	0,63	0,48	0,00	1,00	0,00	0,75	1,00

Table 10. Statistical of representation correctness measures

complex entity features and *Principle of common entity features* could not be calculated because the ontologies do not have these characteristics.

5 Discussion and Conclusions

In this paper, the reformulation of some measures of the OntoQualitas framework has been presented, and the results of a preliminary analysis over the values obtained from applying such measures to a set of ontologies have been shown.

According to the results, the evaluated ontologies do not fulfill adequately the second requirement, i.e., the representation of the information strictly necessary for the interchange. In part, this may be due to the ontology learning tool used to generate the base ontologies that do not add necessary and sufficient conditions, or existential and universal restrictions, among others.

Looking at the syntactic correctness measures, it can be observed that the richness of language was not seized, despite the use of case tools for the development of ontologies. The use of ontology learning techniques contributed to this, as only limited to map the elements of the source into the ontology language elements, untapped all syntactic features available.

As for the semantic interpretation, measures revealed that the names for the ontology elements (classes, relations, properties) were not properly selected.

Regarding the representation correctness, an unexpected result is the low representation of entities through the ontology classes.

Finally, these measures allow detecting errors in the development of ontologies, which affects its quality. An exploratory analysis of the data allowed to characterize the studied ontologies. Future work is to carry out an inferential statistical analysis to a larger set of ontologies that allows analyzing the possible interdependence between measures, define acceptance thresholds of measures, and propose a strategy for assessing the quality of ontologies.

References

1. Alani, H., Brewster, C., Shadbolt, N.: Ranking ontologies with AKTiveRank. 5th International Semantic Web Conference, ISWC. LNCS 4273, 1–15 (2006)
2. Álvarez Suárez, M.M., Caballero, A., Pérez Lechuga, G.: Análisis multivariante: Clasificación, organización y validación de resultados. 4th Int. Latin American & Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCET) (2006)
3. Brank, J., Grobelink, M., Mladenic, D.: A survey of ontology evaluation techniques. Conference on Data Mining and Data Warehouses (SiKDD), 166–169 (2005)
4. Breitman, K.K., Casanova, M.A., Truszkowski, W.: Semantic Web: Concepts, technologies and applications. NASA monographs in systems and software engineering. Springer-Verlag London Limited (2007)
5. Burton-Jones, A., Storey, V.C., Sugumaran, V., Ahluwalia, P.: A semiotic metrics suite for assessing the quality of ontologies. Data Knowl. Eng. 55(1), 84–102 (2005)
6. Colomb, R.M.: Quality of ontologies in interoperating information systems. Technical report 18/02 ISIB-CNR, Padova, Italy (2002)

7. Duque-Ramos, A., Fernández-Breis, J., Stevens, R., Aussenac-Gilles, N.: OQuaRE: A SQuaRE-based approach for evaluating the quality of ontologies. J. Res. Pract. Inf. Tech. 43(2), 159–176 (2011)
8. Duque-Ramos, A., Fernández-Breis, J., Iniesta, M., Dumontier, M., Egaña Aranguren, M., Schulz, S., Aussenac-Gilles, N., Stevens, R.: Evaluation of the OquaRE framework for ontology quality. Expert Syst. Appl. 40, 2669–2703 (2013)
9. Gangemi, A., Catenacci, C., Ciaramita, M., Lehmann, J.: Ontology evaluation and validation. The Semantic Web: Research and Applications. 3rd European Semantic Web Conference, ESWC, Proceedings, LNCS 4011, 140–154 (2006)
10. Gašević, D., Djurić, D., Devedžić, V.: Model driven architecture and ontology development. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA (2006)
11. Gómez-Pérez, A.: Evaluation of ontologies. Int. J. Intell. Syst. 16, 391–409 (2001)
12. Guarino, N.: Towards a formal evaluation of ontology quality. IEEE Intell. Syst. 19(4), 74-81 (2004)
13. Rico, M.: Soporte para enriquecer la representación de entidades en una ontología. Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional, Fac. Reg. Santa Fe, AR (2011)
14. Rico, M., Caliusco, M.L., Chiotti, O., Galli, M.R.: An approach to define semantics for BPM systems interoperability. Enterprise Information Systems, DOI:10.1080/17517575.2013.767381 (2013)
15. Rico, M., Caliusco, M.L., Chiotti, O., Galli, M.R.: OntoQualitas: A framework for ontology quality assessment in information interchanges between heterogeneous systems. Comput. Ind. 65(9), 1291–1300 (2014)
16. Romero Villafranca, R.: Curso de introducción a los métodos de análisis estadístico multivariante. Universitat Politècnica de València, SP.UPV.95–606 (1995)
17. Simperl, E., Mochol, M., Bürger, T.: Achieving maturity: The state of practice in ontology engineering in 2009. Int. J. Comput. Sci. Appl. 7(1), 45–65 (2010)
18. Staab, S., Studer, R. (Eds.): Handbook on ontologies. International handbooks on information systems. 2nd edn. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009)
19. Studer, R., Benjamins, V.R., Fensel, D.: Knowledge engineering: Principles and methods. Data. Knowl. Eng. 25(1-2), 161–197 (1998)
20. Stvilia, B.: A model for ontology quality evaluation. First Monday 12(12) (2007)
21. Tartir, S., Arpinar, I.B.: Ontology evaluation and ranking using OntoQA. International Conference on Semantic Computing, ICSC, 185–192 (2007)
22. Vrandečić, D.: Ontology evaluation. PhD Thesis. Institute AIFB, University of Karlsruhe, Germany (2010)

Extension Rules for Ontology Evolution within a Conceptual Modelling Tool

Germán Braun[1,2] and Laura Cecchi[1]

[1] *Grupo de Investigación en Lenguajes e Inteligencia Artificial*
Departamento de Teoría de la Computación - Facultad de Informática
Universidad Nacional del Comahue
[2] *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)*

Abstract Ontology development and maintenance are complex tasks, so automatic tools are essential for a successful integration between the modeller's intention and the formal semantics in an ontology. Nevertheless, tools need to provide a way to capture the intuitive structures inherent to the conceptual modelling and to focus on ontology elements currently being refactored by abstracting the user from the whole ontology without losing consistency. This can be done by means of a set of extension rules that identify elements from an ontology and suggest possible consistent evolutions. Rules guide the development of ontologies by taking source elements and refactoring. In this paper, we present a small catalogue of extension rules to cover these identified requirements and thus to be integrated into a tool for ontological modelling as built-in reasoning services. Each rule is defined and analysed by considering different theories of design patterns.

1 Introduction and Motivation

Ontology development and maintenance are complex tasks, so automatic tools are essential for a successful integration between the modeller's intention and the formal semantics in an ontology. Domain experts capture the knowledge in the universe of discourse but they have a limited understanding of the semantics of ontology representation languages. Moreover, a good comprehension of the implicit knowledge in a middle-size ontology formalisation is difficult even for IT experts. Thus, automatic tools are essential for a successful integration between the modeller's intention and the formal semantics in an ontology.

Two of the most important features for any ontology development tool are support for graphical representation and a consistent integration with a back-end reasoner for helping in the management of implicit knowledge. Nevertheless, tools also need to provide a way to capture the modeller's intentions or the intuitive structures inherent to the conceptual modelling. The first ones are sources for abstractions and for exploring, composing and checking the ontology by making explicit to the user its overall semantic. The last one provides a way to focus on ontology elements currently being refactored by abstracting the user from the whole ontology maintaining consistency and giving support

to the ontological evolution. This can be done by means of a set of extension rules that identify elements from an ontology and suggest possible consistent evolutions. Rules guide the development of ontologies by taking source elements and refactoring together with the underlying reasoning services.

In order to offer rules-based support, some efforts have been undertaken. In particular, Guizzardi et al. [1] propose an automatic model-checking editor that takes advantage of a well-behaved and predefined set of design patterns. Unlike our approach, the modelling rules are derived from this set of patterns and are implemented by means of an interactive dialogue between the modeller and an automated tool running these rule sets. Interfaces with reasoning systems have not been considered in this work.

In this paper, we present a set of extension rules which work at intentional level (TBox) of an ontology. An extension rule is a Description Logic (DL) structure with an antecedent which must be satisfied in the model to be applied, and a consequent which contains the new knowledge to be asserted. Extension rules are to be used together with other artefacts as user queries and reasoning systems, where the former identifies relevant parts of an ontology and the latter inquires the model to check rules applicability, their possible consequences and side effects. A rule is applicable iff its antecedent is satisfied and its consequent maintains the consistency of the model. Our rules-based approach and the ontology design patterns [2] can be considered as complementary since both provide a foundation for modularity to maintain and reduce the complexity of designing and understanding ontologies. Our alternative offers flexibility and a fine-grained level where the focus is on a reduced set of graphical elements to analyse so as to introduce new ones, as opposed to design patterns which are not orientated towards ontology evolution since they involve more elements in their definitions than rules. Similar to the design patterns, the rules allow to describe views in which the evolution suggestions are consistent. As a consequence, they have the effect of changing only the ontology elements involved in the refactoring, which can be intra- or inter-ontology elements. In addition, rules present modularity as a key property so that they could be modified and extended without affecting the host methodology.

This rule-based approach is to be implemented on the methodology underlying to ICOM tool [3, 4, 5] extending the reasoning services provided by the tool. In this context, we will consider its graphical primitives and its translation to the underlying DL $\mathcal{ALCQI}$ as our initial development framework. ICOM is an advanced conceptual modelling tool, which allows the user to design multiple diagrams adopting as neutral language a hybrid of an EER and UML languages with inter- and intra-schema constraints. Complete logical reasoning is employed by the tool to verify the specification, infer implicit axioms, i.e. new intentional knowledge, devise stricter constraints and manifest any inconsistency. The leverage of automated reasoning to support the domain modelling is enabled by a precise semantic definition of all the elements of the class diagrams. ICOM graphical language can be represented in $\mathcal{ALCQI}$, although the graphical language cannot express inverse roles. $\mathcal{ALCHIQ}$ is necessary for the full

ICOM language, including non-graphical extensions of role hierarchies and the view language. Moreover, ICOM allows partial graphical evolution of an ontology schema (intentional knowledge) by adding axioms which are inferred through defined reasoning services. Users will see the ontology graphically completed and evolved with all the deductions and expressed in the graphical language itself.

This work is structured as follows. Section 2 details the set of rules with a brief explanation and an example of each one of them. Discussions and related works are presented in section 3. To conclude the paper, section 4 elaborates on final considerations and directions for future works.

2 Extension Rules

The objective of the extension rules is to reduce the search space of ontology elements, and thus decrease the complexity of designing and understanding ontologies. They also focus on identifying relevant parts of models, and facilitate ontology verification, maintenance and integration. This approach allows to discover knowledge which is not inferred from a logical point of view but it is suggested from an intuitive point of view. Rules can be inter-modules in order to reuse, combine and share modules, which are central issues in ontology engineering branches as modularity.

In comparison with ontology design patterns [2], extension rules work with elements of ontologies in a greater level of detail than patterns. While Gangemi's approach assumes that there exist problems that can be solved by applying common solutions and define small, task-oriented ontologies with explicit documentation, extension rules handle a limited set of ontology elements so as to introduce new ones by affecting the overall shape of the ontology and maintaining its consistency.

The aim is to integrate this set of rules to a graphical tool so that the graphical ontology and rules are mapped to the ICOM DL. This logical support enables defining when an extension rule can be applied, deducing implicit axioms to display the implications of the suggestions derived from extension rules and asserting the new intentional knowledge in the underlying knowledge base.

The general form of the rules is the following:

$$\{A_1, A_2, ..., A_n\} \Rrightarrow \{B_1, B_2, ..., B_m\}$$

such that A_i and B_j are TBox formulae from DL of the underlying reasoner, $1 \leq i \leq n$ and $1 \leq j \leq m$.

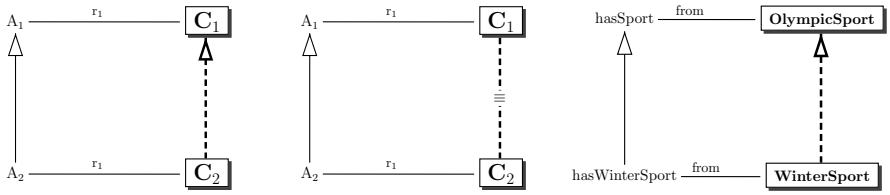
In order to apply a rule, we must check if its antecedent is satisfied in the logical representation of the graphical ontology Ω, denoted by Θ, and if its consequences are consistent with this representation. Thus, a back-end reasoner should be inquired about the satisfiability of the following properties of Ω, $\{A_1, A_2, ..., A_n\}$, and about consistency of every resulting ontology after applying the rule consequent. Each B_i represents a different possible ontology extension and it is the user who is required to select which $B_i, 1 \leq i \leq m$ will be applied,

if any. Therefore, the back-end reasoner would be inquired if $\Theta \cup B_i$ is consistent for any $i, 1 \leq i \leq m$

We present the extension rules catalogue by means of a brief explanation about each rule with some comparisons with other approaches such as design patterns or OntoUML [6], which is beyond the scope of the tool. Moreover, rules are formalised as DL formulae since they work on the ICOM underlying DL and a graphical description about how they are interpreted is depicted. Examples about how the rule is used are shown in the context of a domain ontology, where rule suggestions are depicted in dashed line. According to ICOM's graphical syntax, the primitives C_i and A_i are ICOM's classes and associations respectively, which will be translated as $\mathcal{ALCIQ}$ concepts, and r_i are ICOM's roles which will be also considered $\mathcal{ALCIQ}$ roles.

$\sqsubseteq$-rule # 1

$$\{A_2 \sqsubseteq A_1,\ A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1,\ A_2 \sqsubseteq \exists r_1.C_2\} \ \Rightarrow\ \{C_2 \sqsubseteq C_1,\ C_2 \equiv C_1\}$$



(a) (b) (c)

Figure 1: (a)(b) Graphical representation of $\sqsubseteq$-rule # 1. (c) $\sqsubseteq$-rule # 1 applied in *Olympics*

The aim of this rule is to identify missing IsA relationships between classes (and associations) and suggest them. It is intended to capture those scenarios whose concepts could be related by means of possibly the same role, and thus suggest a missing relationship as a subsumption axiom obtaining a more precise model or an equivalence axiom in which case the involved classes could be factored.

The rule, which is graphically rendered as shown in Fig. 1a and 1b, can be legitimised by analysing the involved classes and their relationships. By definition, if $A_2 \sqsubseteq A_1$ and $A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1$ then $A_2 \sqsubseteq \exists r_1.C_1$. Moreover, if any explicit inequality exists in the ontology then we can suppose both roles r_1 in $A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1$ and $A_2 \sqsubseteq \exists r_1.C_2$ represent the same role and they are identically defined. Considering these arguments, the rule consequent $\{C_2 \sqsubseteq C_1, C_2 \equiv C_1\}$ could be proposed as possible extensions. Similar to Gangemi's design patterns [2], our rule can be a way to complete some patterns as *Classification* whose aim is to represent

the relations between concepts and entities and *Type of entities*, which allows to identify the type of any element of the knowledge base.

Another way of validating this rule is using the Guizzardi's definitions in [6] although in this case we should consider what object types are being represented. A type is rigid iff for every instance x of that type, x is necessarily an instance of that type. As these types can be related in a chain of taxonomic relations and if in the domain under modelling C_1 and C_2 are defined as rigid types then the *Subkind* pattern in [1] is completed by means of the rule suggestion $C_2 \sqsubseteq C_1$. Also, the suggested subsumption can be justified if C_2 is modelled as a phase type, which are anti-rigid types whose instances can move in and out of the extension of these types without affecting their identity. Consequently, the *Phase* Pattern could be also completed by $C_2 \sqsubseteq C_1$.

Example 1. Let us suppose the following partial and textual ontology Ω:

$$hasSport \sqsubseteq \exists from.OlympicSport$$
$$OlympicSport\_hasSport\_min \sqsubseteq OlympicSport \sqcap (\geq 1\ from^{-}.hasSport)$$
$$OlympicSport\_hasSport\_max \sqsubseteq OlympicSport \sqcap (\leq 1\ from^{-}.hasSport)$$
$$hasWinterSport \sqsubseteq \exists from.WinterSport$$
$$WinterSport\_hasWinterSport\_min \sqsubseteq WinterSport \sqcap (\geq 1\ from^{-}.hasWinterSport)$$
$$WinterSport\_hasWinterSport\_max \sqsubseteq WinterSport \sqcap (\leq 1\ from^{-}.hasWinterSport)$$
$$hasWinterSport \sqsubseteq hasSport$$

If we match these ontology elements to the $\sqsubseteq$-rule # 1, we can obtain a consistent ontology Ω', which defines a new type for the *OlympicSport* by means of $WinterSport \sqsubseteq OlympicSport$ as depicted in Fig. 1c, or a Ω'' where $WinterSport \equiv OlympicSport$.

$\sqsubseteq$-rule # 2

$$\{C_2 \sqcup C_3 \sqcup ... \sqcup C_n \sqsubseteq C_1,\ A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_2,...,\ A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_n\} \Rrightarrow \{A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1\}$$

This rule, which is graphically represented as depicted in Fig. 2a, intends to identify redundant relationships between concepts within an IsA relationship. The same roles involving each subclass of an IsA could be defined by relating it to the superclass of the hierarchy.

Although it is not caught by the current definition of the rule, if a totality constraint is defined then the rule suggestion is a strong suggestion since each instance of the superclass belongs to one of its subclasses. Consequently the validation can be obtained from a logical point of view: if $\forall i, 2 \leq i \leq n, C_i \sqsubseteq C_1$ and $A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_i$ then $A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1$. Nevertheless, if any other constraint (exclusive or partial) is defined then the rule suggestion is weaker than the previous one.

Despite being $\sqsubseteq$-rule # 2 a common-sense rule, in our methodological context it enables the user to optimise relationships in possibly big-size ontologies without removing existing ones in order to show each consistent modelling scenarios.

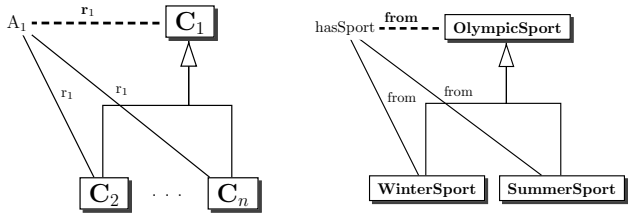


Figure 2: (a) Graphical representation of $\sqsubseteq$-rule # 2. (b) $\sqsubseteq$-rule # 2 applied in *Olympics* ontology

Example 2. Let us consider the ontology shown in Fig. 2b where an `olympicSport` can be a `winterSport` or a `summerSport` and both related to other classes by means of the association *hasSport* and the role $from$. The DL representation of this ontology is not included here but it is similar to the one shown in the example associated to $\sqsubseteq$-rule # 1.

The new relationship $hasSport \sqsubseteq \exists from.OlympicSport$ will be suggested by the rule, as depicted in Fig. 2b in dashed line, and thus it will allow to optimise the ontology and reduce the underlying representation as follows (as long as user decides to remove the redundant existing relationships).

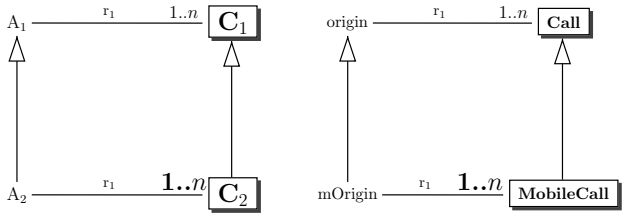
$$WinterSport \sqcup SummerSport \sqsubseteq OlympicSport$$
$$hasSport \sqsubseteq \exists from.OlympicSport$$
$$OlympicSport\_hasSport\_min \sqsubseteq OlympicSport \sqcap (\geq 1\ from^{-}.hasSport)$$
$$OlympicSport\_hasSport\_max \sqsubseteq OlympicSport \sqcap (\leq 1\ from^{-}.hasSport)$$

***c*-rule**

$$\{A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1,\ C_2 \sqsubseteq C_1,\ A_2 \sqsubseteq A_1,\ A_2 \sqsubseteq \exists r_1.C_2,\ C_1 \sqsubseteq \exists r_1^{-}.A_1\} \Rrightarrow \{C_2 \sqsubseteq \exists r_1^{-}.A_2\}$$

The *c*-rule intends to capture those cardinalities that cannot be logically deduced but they can be considered as graphically intuitive in models such as the ontology shown in Fig. 3a. At first, nothing can be concluded about the minimum participation of $r1$ relating C_2 with A_2, since the A_2 relationship may not contain all instances of C_2 in the A_1 relationship. Nevertheless, from an intuitive and graphical point of view, we consider that this minimum participation could be inherited since both C_2 and A_2 are subclasses of C_1 and A_1 respectively, then they have the same properties than their parents. In certain contexts, the *c*-rule can be considered as an instance of the Gangemi's pattern named *Role task* where C_2 is a role, which is represented in the pattern as a concept that classifies an object, and A_2 is a task. While the pattern does not explicit any cardinality, we conclude that roles make sense only if they have at least one task associated.

According to Guizzardi's definitions, this rule can be also considered as an instance of the *Role Modeling Design* pattern [1], where C_2 must be modelled



(a) (b)

Figure 3: (a) Graphical representation of *c*-rule. (b) *c*-rule applied in *Phone* ontology

as a role, i.e. an anti-rigid type similar to phase type but the changes among subtypes occur due to changes in their relational properties. As a consequence, there exists a relational dependence between C_2 and A_2 which requires minimum cardinality ≥ 1 in order to justify the existence of A_2 in the model.

Example 3. Let us suppose the following partial ontology Ω from Phone domain, which is depicted in Fig. 3b and translated to DL as follows. Ω models calls and mobile calls which could have different origins.

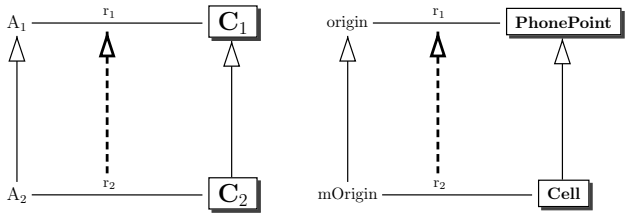
$$Call \sqsubseteq (\leq 1\ r_1^-.origin)$$
$$Call \sqsubseteq \exists r_1^-.origin$$
$$origin \sqsubseteq \exists r_1.Call$$
$$Call\_origin\_min \sqsubseteq Call \sqcap (\geq 1\ r_1^-.origin)$$
$$Call\_origin\_max \sqsubseteq Call \sqcap (\leq 1\ r_1^-.origin)$$
$$mOrigin \sqsubseteq \exists r_1.MobileCall$$
$$MobileCall\_mOrigin\_min \sqsubseteq MobileCall \sqcap (\geq 1\ r_1^-.mOrigin)$$
$$MobileCall\_mOrigin\_max \sqsubseteq MobileCall \sqcap (\leq 1\ r_1^-.mOrigin)$$
$$MobileCall \sqsubseteq Call$$
$$mOrigin \sqsubseteq origin$$

According to rule description, $MobileCall \sqsubseteq \exists r_1^-.mOrigin$ could be proposed to extend Ω. Notice that intuitively only one `origin` is possible for any `call` so that this could be considered for a `mobileCall` since it is also a `call`.

r-rule

$$\{C_2 \sqsubseteq C_1,\ A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1,\ A_2 \sqsubseteq \exists r_2.C_2,\ A_2 \sqsubseteq A_1\} \Rrightarrow \{r_2 \sqsubseteq r_1\}$$

The aim of this rule, depicted in Fig. 4a, is to find recurrent ontological structures where a hierarchy of roles can be defined and suggested. From a logical point of view, if $A_2 \sqsubseteq A_1$ and $A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1$ then $A_2 \sqsubseteq \exists r_1.C_1$. Moreover, if $C_2 \sqsubseteq C_1$ and $A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_1$ then $A_1 \sqsubseteq \exists r_1.C_2$. Consequently, both A_2 and C_2 concepts are related to C_1 and A_1 respectively through r_1 so that there could exist unexpected relationships between A_2 and C_1 or C_2 and A_1. This scenario can be identified as the *Relation Specialization* anti-pattern in [7] where one of the proposed solutions matches the consequent of our r-rule.



(a) (b)

Figure 4: (a) Graphical representation of r-rule. (b) r-rule applied in *Phone* ontology

Example 4. Fig. 4b shows a model extracted from ontology `Phone` and how the rule can be applied to this model. Let us suppose that two instances `PhonePoint`, for example `phonePoint1` and `phonePoint2`, are related to `origin1` and `origin2` respectively. Notice that without asserting $r_2 \sqsubseteq r_1$ and if both phone points are considered as instances of `Cell` then it could not be guaranteed that these cells belongs to the same origin.

3 Discussion and Related Works

All the logical systems suppose ideal objects but they do not consider the information about the reality or intuition. This explains that only those axioms implied by the current models will be suggested as possible ontology evolutions. Nevertheless, if we consider the modelling as an approach based on empirical facts, we need something more than only the formal logic. We need observations, experiments and pattern analysis to confirm our hypothesis. The benefit of a rules-based approach is to offer a trade-off between the inherent rigidity to the logic systems and the intuitive characteristics of the ontological modelling.

Similar to our approach, Guizzardi in [1] proposes to use rules in pattern-based design. However, the proposed inductive rules are extracted from a subset of the design patterns underlying to OntoUML and its application requires of an intensive interaction between users and the tool so as to specify each possible element and its relationships in the ontology under development. As a consequence, reasoning services are not invoked during this modelling process. Respecting to ontology evolution, it is partially supported by reducing the possible choices of modelling primitives to be adopted and by offering a step-by-step modelling activity. Finally, this feature has not been developed in the last OntoUML version.

In order to analyse the current graphical tools, we consider the following key factors: the graphical, automatic reasoning and evolution support and their integration in the tool. OntoUML [6] is a graphical tool but the reasoning and evolution support is limited. In spite of offering an insufficient graphical interface, Protégé [8] and TopBraid Composer [9] allow this integration. The inferences are shown in the graphical editor, but these are only restricted to IsAs

hierarchies. Their evolution support is also partial: manual, ontology differences (Protégé) and versioning and collaboration (TopBraid Composer). Finally, NeOn toolkit [10], Kaon2 [11] and SWOOP [12] provide access to reasoners but they are not graphical-based tools. Respecting to evolution, only NeOn incorporates a specific framework to support it from external sources. Kaon2 and SWOOP simply offer some operations as redo and undo (Kaon2) or imports and versioning (SWOOP). Other tools as GrOWL [13], OWLGrEd [14], Graphol [15], "model outline" framework [16] and VOWL [17], which is a Protégé plugin, are also graphical-centered tool. They define a graphical syntax and semantics providing users with a visual representation of their models and thus avoid any complex textual syntax. Nevertheless, the reasoning support is not provided in any of these tools as ICOM does and the ontology evolution is not properly supported.

The intention behind rules is to reduce the complexity of the evolution process and they are defined to be implemented within a graphical tool. Nevertheless, they cannot be isolated from other complementary artefacts such as user queries which allow to identify relevant parts of an ontology and back-end reasoning systems which allow to inquire the model to check rules applicability and their possible consequences. In any case, it is the user who decides which of the suggestions (rule consequences) are appropriate, if any, according to his intended model.

4 Conclusions and Future Works

This work introduces a small catalogue of extension rules which intends to capture the intuitive characteristics inherent to the ontology modelling. Each rule has been defined and analysed by considering different theories of design patterns and by showing the intended meaning through illustrations where the intuition is presented. The aim is to place emphasis on a reduced search space of possible ontology extensions, and thus also reduce the complexity when trying with large ontologies. This alternative offers flexibility and a fine-grained level where the focus is on a subset of ontology elements to analyse in order to introduce new ones, in contrast to design patterns which are not orientated towards ontology evolution since its smallest unit of work is an ontology when in rules it is an ontological element. Then they have the effect of changing only the ontology elements involved in the refactoring, which can be intra- or inter-ontology ones. Rules must be used together with other artefacts such as user queries and back-end reasoning systems to identify relevant parts of an ontology and check the consequences of application on the whole model. Furthermore, the modularity is a key property in this approach so that some changes on the set of rules are independent of the underlying methodology. An example about the usage of these rules in a methodology has been published in [18].

As future works, we propose to identify new extension rules and define a logical formalism as an application framework for these rules. The rules will be also evaluated by means of two techniques such as a behaviour-based one, which will allow us to register the number of suggestions accepted by user, and

an opinion-based one, which will enable us to elicit users opinions about the use of them [19]. We plan to provide support to user-defined rules and to rules involving instances so that we could supply evolution at extensional level (ABox) and possibly use it to extend the intentional knowledge.

References

1. Guizzardi, G., das Graças, A., Guizzardi, R.: Design patterns and inductive modeling rules to support the construction of ontologically well-founded conceptual models in ontouml. In: CAiSE Workshops. (2011)
2. Gangemi, A., Presutti, V.: Ontology design patterns. In: Handbook of Ontologies. 2nd edn. (2009)
3. Franconi, E., Ng, G.: The i.com tool for intelligent conceptual modelling. In: Proc. of 7th KRDB'2000. (2000)
4. Fillottrani, P., Franconi, E., Tessaris, S.: The new icom ontology editor. In: Description Logics. CEUR Workshop Proceedings, CEUR-WS.org (2006)
5. Fillottrani, P., Franconi, E., Tessaris, S.: The icom 3.0 intelligent conceptual modelling tool and methodology. Semantic Web (2012)
6. Guizzardi, G.: Ontological foundations for structural conceptual models. PhD thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, Enschede (October 2005)
7. Guizzardi, G., Sales, T.P.: Detection, simulation and elimination of semantic antipatterns in ontology-driven conceptual models. In: Conceptual Modeling - 33rd International Conference, ER 2014. Proceedings. (2014)
8. Knublauch, H., Fergerson, R., Noy, N., Musen, M.: The protégé owl plugin: An open development environment for semantic web applications. (2004)
9. TopQuadrant: TopQuadrant — Products — TopBraid Composer (2011)
10. Hasse, P., Lewen, H., Studer, R., Erdmann, M.: The NeOn Ontology Engineering Toolkit. (2008)
11. Motik, B., Studer, R.: KAON2–A Scalable Reasoning Tool for the Semantic Web. In: Proceedings of the 2nd ESWC'05. (2005)
12. Kalyanput, A., Parsia, B., Sirin, E., Grau, B., Hendler, J.: Swoop: A 'web' ontology editing browser. Journal of Web Semantics (June 2005)
13. Krivov, S., Williams, R., Villa, F.: Growl: A tool for visualization and editing of owl ontologies. J. Web Sem. (2007)
14. Cerans, K., Ovcinnikova, J., Liepins, R., Sprogis, A.: Advanced owl 2.0 ontology visualization in owlgred. In: DB&IS. Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, IOS Press (2012)
15. Console, M., Lembo, D., Santarelli, V., Savo, D.F.: Graphol: Ontology representation through diagrams. In: Informal Proceedings of the 27th International Workshop on Description Logics. (2014)
16. do Amaral, F.N.: Usability of a visual language for dl concept descriptions. In: RR. Lecture Notes in Computer Science, Springer (2010)
17. Lohmann, S., Negru, S., Bold, D.: The protégévowl plugin: Ontology visualization for everyone. In: The Semantic Web: ESWC 2014 Satellite Events. Lecture Notes in Computer Science. (2014)
18. Braun, G., Cecchi, L., Fillottrani, P.: Integrating Graphical Support with Reasoning in a Methodology for Ontology Evolution. In: Proc. of the 9th Int. Workshop on Modular Ontologies WoMO 15 IJCAI 15. CEUR Workshop Proceedings (2015)
19. Gediga, G., Hamborg, K.C.: Evaluation of software systems. Encyclopedia of Computer Science and Technology (2001)

Método Práctico para la Población y Persistencia de un Modelo Semántico

José A. Gilliard[1], Omar R. Perín[1], Mariela Rico[1], and Ma. Laura Caliusco[1,2]

[1] Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería en Sistemas de Información (CIDISI) - UTN - Fac. Regional Santa Fe, Lavaise 610 - S3004EWB - Santa Fe
jgilliard@frsf.utn.edu.ar
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Resumen Actualmente, cada vez son más los gobiernos que publican sus datos siguiendo la doctrina de Gobierno Abierto. Si bien existen varias propuestas de cómo realizar dicha publicación, ninguna de ellas es completa y, por lo tanto, no pueden ser fácilmente replicadas. En este trabajo se presenta una estrategia para el poblado y persistencia de datos basados en un modelo semántico utilizando el lenguaje de mapeo D2RQ y el Triple Store Jena TDB.

Keywords: modelo semántico, datos abiertos, D2RQ, Jena TDB

1. Introducción

Hoy en día, la publicación de datos ha tomado importancia, siendo ésta, junto con la búsqueda de información, los objetivos principales de Internet. Si se relacionan los datos y además se les agrega interpretación, entonces se puede hablar no sólo de la publicación de información sino también de conocimiento [9].

Por otro lado, ha surgido un nuevo modelo de gobierno llamado Gobierno Abierto, el cual se basa en la premisa de que todos los datos que produce el gobierno son públicos [1]. Un Gobierno Abierto es aquel que entabla una constante conversación con los ciudadanos con el fin de oír lo que ellos dicen y solicitan, que toma decisiones basadas en sus necesidades y preferencias, que facilita la colaboración de los ciudadanos y funcionarios en el desarrollo de los servicios que presta, y que comunica todo lo que hace de forma abierta y transparente [2]. Existen varias iniciativas de Gobierno Abierto que difieren en la estrategia seguida: mientras unas iniciativas, como la de Estados Unidos, se centraron en la publicación de la mayor cantidad de información en el menor plazo posible, volcando la información en crudo tal y como estaba disponible, otras, como el caso de Gran Bretaña y España, realizaron un tratamiento previo de los datos empleando tecnologías de la Web Semántica para modelar la información y establecer relaciones explícitas entre los distintos conjuntos de datos, siguiendo los principios de Datos Enlazados [5]:

- Utilizar URIs (*Uniform Resource Identifier*) como nombres únicos para los recursos.

- Incluir enlaces a otras URIs para localizar más Datos Enlazados.
- Utilizar el protocolo HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) para nombrar y resolver la ubicación de los datos identificados mediante esas URIs.
- Representar los datos en RDF[3] y utilizar SPARQL[4], un lenguaje de consulta para RDF, como lenguaje de consulta de dichos datos.

En este último sentido existen diferentes arquitecturas y metodologías basadas en modelos semánticos compuestos por ontologías. Por ejemplo, en [8] se presenta un proceso para publicar datos enlazados de gobierno, pero cuando se quiere llevar a la práctica dicho proceso se carece de instrucciones detalladas sobre cómo hacerlo. El trabajo presentado en [7] se centra principalmente en el desarrollo de la ontología en un contexto de datos enlazados y en la evaluación del producto obtenido según criterios de la Ingeniería Ontológica y los principios de Datos Enlazados, pero no se explicitan reglas claras para el poblado de esta ontología. En [5] se presenta un framework de alto nivel para la publicación de datos basados en los principios de Datos Enlazados pero no se describe cómo aplicarlo. Estos inconvenientes hacen difícil replicar estas propuestas en otros casos, sobre todo cuando se deben manejar grandes volúmenes de datos provenientes de distintas fuentes de información y no existe una correspondencia directa entre los elementos de estas fuentes y los de las ontologías.

El objetivo de este trabajo es presentar una estrategia que permita la persistencia y población de grandes ontologías para dar soporte a aplicaciones de Datos Abiertos siguiendo los principios de Datos Enlazados. Dicha estrategia se definió luego de realizar varias iteraciones, siguiendo los lineamientos del método Investigación en Acción [10].

2. Pasos para Poblar y Persistir un Modelo Semántico

En esta sección se presentan los pasos de una estrategia para la población y persistencia de un modelo semántico que será utilizado para la publicación de datos de gobierno. El objetivo de dicha estrategia es generar las tripletas necesarias para poblar las ontologías del modelo semántico a partir de los datos almacenados en una base de datos (BD), cumpliendo con los requerimientos especificados en el Documento de Especificación de Requerimientos del Modelo Semántico (DERMS) que se desea poblar y las correspondencias entre los datos en las tablas de las BD y los elementos del modelo. Dichas correspondencias se encuentran especificadas en el Documento de Correspondencias entre la BD y las Ontologías (DCBDO) que se debe recibir como entrada.

Se considera como caso de estudio, para presentar la estrategia, la población y persistencia del modelo semántico del personal del Gobierno de la Provincia de Santa Fe [6]. Se recibieron como entrada el DERMS, el DCBDO, el modelo semántico implementado en el lenguaje OWL y la BD de la cual se debían extraer los datos. El modelo semántico recibido como entrada está compuesto por cuatro ontologías modulares: Lugares, Cargos, Organismos y Agentes.

[3] http://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf11-concepts-20140225/
[4] http://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-query-20130321/

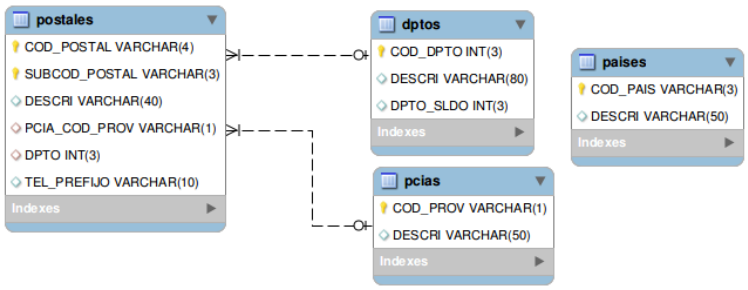


Figura 1. Diagrama entidad-relación simplificado para poblar la ontología *Lugares*

2.1. Análisis de las Fuentes de Información

Los objetivos de este paso son: (1) preparar las BDs origen para la extracción de los datos para generar las tripletas necesarias para poblar el modelo, y (2) analizar el modelo semántico para comprenderlo y definir las URLs a usar.

Analizar las fuentes de información. La información primaria se encuentra en una BD ORACLE de gran porte. Para independizar esta fuente de la publicación de datos, se hizo una réplica de la información a publicar en una BD de código abierto, MySQL, denominada *"persontо"* (dicha BD cuenta con 47 tablas y un total de 7.439.605 registros) y se creó un archivo de texto plano conteniendo las sentencias SQL necesarias para la creación de las tablas y posterior carga de los datos. Para disponer de una BD operativa fue necesario montar un servidor de BD en los equipos de desarrollo, y configurar y poner en marcha el servicio.

Dado que no todas las tablas de la BD se usaron para la generación de tripletas, resultó de gran utilidad hacer diagramas de entidad-relación simplificados para cada una de las ontologías del modelo en los que sólo se desplegaron aquellas tablas que intervendrían en su población. Esta fragmentación surgió de los requerimientos definidos en el DERMS. A manera de ejemplo, se muestra en la Figura 1 el diagrama de tablas de Lugares que luego se utilizará en los ejemplos.

Preparar los datos para generar las tripletas. Para poder generar las tripletas fue necesario realizar las siguientes tareas sobre los datos de la BD:

Tarea 1: Anonimizar datos. Con el fin de no hacer referencia a personas reales, se reemplazaron sus nombres y apellidos por datos ficticios para lo cual se creó una rutina en lenguaje Java y se la ejecutó sobre la BD *"persontо"*.

Tarea 2: Tratar valores especiales. Un aspecto importante a tener en cuenta es la existencia de valores nulos (NULL) en la BD. En algunos casos un valor nulo en un campo de una tabla significa ausencia o desconocimiento del dato. Por ejemplo, el campo que almacena el número de teléfono de una persona.

En otros casos, al momento de elaborar el modelo semántico se le dió un significado específico a ese valor nulo. Por ejemplo, el modelo semántico estudiado define la propiedad *funcionamiento* para la clase *OrganismoEnSARH*, que se origina a partir del campo *CLAUSURA* de la tabla *organismos*. Los valores almacenados en este campo son los caracteres *S* y *T*, que se traducen a los valores *En Funcionamiento* y *Cerrado Temporalmente* de la propiedad para las instancias de la clase. El modelo semántico, además de esta interpretación de los datos, agrega un tercer posible valor *Cerrado* que deberá utilizarse para los casos en que el valor del campo *CLAUSURA* sea *NULL*. Las herramientas adoptadas no dan soporte para este tipo de transformación con valores nulos, por lo que fue necesario modificar una serie de registros en la BD para incluir un nuevo valor al campo *CLAUSURA* en aquellos registros donde era nulo.

Definir una URL base para el modelo semántico y, en base a ésta, una URL para cada ontología del modelo. Para publicar datos en la Web, los elementos de un dominio de interés primero deben ser identificados[5]. *Datos Enlazados* utiliza sólo URIs HTTP por dos razones:

1. proporcionan una forma sencilla de crear nombres únicos globales de manera descentralizada
2. y sirven como medio de acceso a la información que describe la entidad identificada.

La URL *http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/* identifica globalmente al modelo semántico estudiado. Las demás URL definidas son las siguientes:

- Agentes: *http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/ontoagentes#*
- Cargos: *http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/ontocargos#*
- Lugares: *http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/ontolugares#*
- Organismos *http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/ontoorganismos#*

Definir las colecciones para las instancias de cada ontología y sus respectivas URLs. Cada clase definida en un modelo semántico da origen a una serie de recursos, sus instancias. Los recursos de una misma clase se agrupan en una colección. Para identificar estos recursos es necesario adoptar un criterio respecto de los nombres a asignar a las colecciones y, además, construir una cadena de texto que identifique de manera unívoca a cada recurso.

Para la nominación de colecciones se utilizó el plural del sustantivo que da nombre a la clase a la cual corresponden los recursos. Así, por ejemplo, las instancias de la clase Provincia se agruparon dentro de la colección provincias.

Para generar los identificadores se usaron los valores correspondientes a las claves primarias de las tablas desde las cuales se extraen los datos, asegurando así su unicidad. En los casos donde la clave primaria estaba compuesta por más de un campo, se concatenaron sus valores.

La estructura de la URI correspondiente a cualquier recurso del modelo es: <http://www.frsf.utn.edu.ar/persontо/colección/id_recurso>

Algunos ejemplos de las correspondencias entre cada clase del modelo y la URI de la colección en la cual se agrupan sus instancias son:

- Pais: http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/paises/
- Departamento: http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/departamentos/
- Provincia: http://www.frsf.utn.edu.ar/personto/provincias/

2.2. Población del Modelo Semántico

Cada elemento de la ontología tendrá una correspondencia, directa o no, con elementos de las BDs. A partir de las BDs y en base a las definiciones establecidas en las ontologías, primero se deben establecer las correspondencias que permitan generar las tripletas necesarias para representar las definiciones de clases, instancias y sus propiedades, y las relaciones entre las instancias de esas clases. Estas tripletas convierten la **ontología modelada** en una **ontología poblada**.

Para cada ontología, identificar grupos de tripletas a generar. Esta actividad consiste en identificar qué grupos de tripletas se deben generar según los elementos que componen la ontología dada. Para cada ontología, se necesitan tripletas para la declaración e instanciación de cada una de sus elementos.

Definir los patrones que seguirán las componentes sujeto, propiedad y objeto de las tripletas de cada grupo. Partiendo de los grupos establecidos en la actividad anterior se procedió a especificar de qué manera debían estar compuestas las tripletas para cada grupo.

Declaración de clases. Para la declaración de clases se debe generar una tripleta que identifique a la clase como tal y dos tripletas opcionales para agregar comentarios y etiquetas, siguiendo los patrones que se muestran a continuación:

<URI_CLASE>
<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type>
<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class>.
<URI_CLASE>
<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label>“ETIQUETA” .
<URI_PROPIEDAD>
<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#comment>“COMENTARIO” .

Cuando existe herencia de clases, para cada una de las subclases se debe incluir una tripleta extra indicando la relación, como se muestra a continuacin:

<URI_SUBCLASE>
<http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#subClassOf>
<URI_SUPERCLASE>.

Instanciación de clases Por cada instancia de clase se debe generar una tripleta según el siguiente patrón:

<URI_INSTANCIA>
<http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type>
<URI_CLASE>.

Declaración de propiedades de instancias. Las propiedades se declaran con una tripleta que identifique la propiedad como tal y, opcionalmente, dos o más para agregar comentarios y etiquetas, con los patrones que se muestran a continuación.

<URI_PROPIEDAD><http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type><http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property>.
<URI_PROPIEDAD><http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label>"ETIQUETA" .
<URI_PROPIEDAD><http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#comment>"COMENTARIO" .

En los casos en que el dominio de la propiedad está integrado por más de una clase, se genera una única tripleta para identificar a la propiedad, las tripletas de etiqueta y comentario para cada clase incluida en el dominio.

Instanciación de propiedades de instancias. Se debe generar una tripleta por cada propiedad de cada instancia de cada clase siguiendo el siguiente patrón:

<URI_INSTANCIA><URI_PROPIEDAD>"VALOR_PROPIEDAD" .

Declaración de relaciones entre instancias. Se debe generar una tripleta que identifique cada relación como tal y, opcionalmente, dos o más para agregar comentarios y etiquetas. Los patrones para estas tripletas son:

<URI_RELACION><http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#type><http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#Property>.
<URI_RELACION><http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#label>"ETIQUETA" .
<URI_RELACION><http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#comment>"COMENTARIO" .

Instanciación de relaciones entre instancias. Se debe generar una tripleta por cada par de instancias relacionadas según el siguiente patrón:

<URI_INSTANCIA_SUJETO><URI_RELACION><URI_INSTANCIA_OBJETO>.

Calcular la cantidad de tripletas a generar para cada grupo en base a consultas SQL a las BD de origen. Se debe obtener, para cada grupo de tripletas y teniendo en cuenta los patrones necesarios para cada grupo, la cantidad exacta de tripletas que se deben generar para la declaración de todas las clases y propiedades del modelo semántico y la extracción de todas las instancias almacenadas en las BDs. Para estos cálculos se debe tener en cuenta lo siguiente:

- cada subclase en una relación de herencia requiere una tripleta adicional;
- la instanciación de una propiedad de una clase depende de la cantidad de valores no nulos en el campo origen de dicha propiedad;
- las propiedades con n clases en su dominio ($n \geq 2$) requieren $3 + 2 \times (n - 1)$ tripletas

Para cada ontología, redactar un archivo de mapeo D2RQ que permita generar los lotes correspondientes de forma automatizada. Mediante el uso de un lenguaje específico, *D2RQ Mapping Language*, se pueden escribir bloques de código que establecen la asociación entre los campos de las tablas en las BDs y los elementos definidos en las ontologías, como clases y propiedades [4]. El

contenido base de un archivo de mapeo D2RQ consiste en la definición de prefijos, conexiones a BDs, bloques *d2rq:ClassMap*, uno por cada clase de la ontología, y bloques *d2rq:PropertyBridge* para generar propiedades entre las instancias de las clases. A continuación se detallan cada uno de ellos.

Declaración de prefijos. Los archivos de mapeo comienzan con la declaración de los prefijos necesarios, incluyendo uno para la URI base del modelo, uno para cada URI de las diferentes ontologías que lo forman y uno para cada colección de instancias. También, se deben incluir una serie de prefijos de espacios de nombres de uso común, como el de D2RQ y OWL. No es necesario incluir todos los prefijos específicos del modelo, sino sólo aquellos que se utilizan localmente.

Conexión a BDs. Se deben establecer las conexiones a las BDs con las que se va a trabajar para la extracción de tripletas. Para ello, un objeto *d2rq:Database* define una conexión JDBC a una BD relacional local o remota. Un archivo de mapeo D2RQ puede contener más de un objeto *d2rq:Database*, permitiendo el acceso a múltiples BDs diferentes. Una vez declarado este objeto, cualquier acceso a la BD se realizará haciendo referencia al mismo.

Mapeo de clases y sus instancias. D2RQ abarca las definiciones de clases y sus instancias con un solo bloque de código, a través de un objeto *d2rq:ClassMap*. Por ejemplo, el bloque de código siguiente realiza el mapeo entre la tabla *paises* y la clase *Pais* de la ontología *Lugares*, mediante la definición del mapeo *map:Paises*.

```
map:Paises a d2rq:ClassMap; d2rq:dataStorage map:persontoDB; d2rq:uriPattern
“paises/@@paises.COD_PAIS—encode@@”; d2rq:class ontolugares:Pais; d2rq:classDefinitionLabel
“Pais”; d2rq:classDefinitionComment “Representa el país de nacimiento de un Agente.”; .
```

Este mapeo da origen a las tripletas de definición de la clase *Pais*, una etiqueta (*d2rq:classDefinitionLabel*) y comentario (*d2rq:classDefinitionComment*) para la misma. La propiedad *d2rq:dataStorage* especifica que el objeto obtendrá datos de la BD definida anteriormente por el objeto *map:persontoDB*.

Cada registro de la tabla dará origen a una instancia de la clase, que estará identificada y será posible acceder a la misma por medio de la URI compuesta por el infijo *paises/*, correspondiente a la colección, seguido del código del país. Esto se logra haciendo uso de la propiedad *d2rq:uriPattern*. En tiempo de ejecución, a toda URI generada a partir de un mapeo D2RQ se le añade un prefijo global correspondiente a la URL base que identifica al modelo.

Mapeo de propiedades y sus instancias. El objeto D2RQ, que hace posible el mapeo de Data Properties y Object Properties es *d2rq:PropertyBridge*.

Una Data Property puede generarse de varias formas. El valor de la misma puede obtenerse, por ejemplo, a partir de un valor simple de una columna de la misma tabla desde la cual se originó la instancia, una columna de otra tabla, un patrón generado a partir de la concatenación de varias columnas o una correspondencia entre valores enumerados. La definición de un *d2rq:PropertyBridge* está compuesta por la especificación del *d2rq:ClassMap*, que da origen a las instancias a las cuales agrega propiedades mediante la propiedad *d2rq:belongsToClassMap*,

la propiedad RDF que está generando, especificada por la propiedad *d2rq:property*, y el valor asignado.

Las Object Properties se extraen generalmente de alguna relación entre tablas y se mapean generando un bloque de tipo *d2rq: PropertyBridge* con el agregado de una o más propiedades *d2rq:join*, que fijen la relación de igualdad entre campos de tabla. Además, teniendo en cuenta la definición de una object property como una tripleta sujeto-propiedad-objeto, la propiedad *d2rq:belongsToClassMap* indica el mapeo que da origen a las instancias sujeto, mientras que *d2rq:refersTo ClassMap* indica las instancias objeto. Los signos < y > se utilizan para indicar, mediante la punta de flecha, cuál de los lados de la condición de igualdad corresponde a una clave primaria. Esto permite al motor D2RQ optimizar el mecanismo interno de resolución de consultas SQL, reduciendo los tiempos de procesamiento requeridos para la transformación de los datos.

En ciertos casos, el valor que de una propiedad puede estar incluido en una enumeración de posibles valores, por lo cual el rango de la propiedad corresponde a un tipo de datos enumerado. Pueden existir, además, casos en los que los valores almacenados en campos de tablas que dan origen a propiedades de instancias contengan valores que por diseño del modelo semántico deban ser traducidos o convertidos a otro formato al momento de la generación de las tripletas. Para estos casos se emplean características particulares del lenguaje D2RQ.

Para cada ontología, generar un volcado de tripletas serializadas en formato n-triples. Una vez redactado el archivo de mapeo para cada ontología, se generan volcados de tripletas para cada mapeo. La herramienta *dump-rdf* de la plataforma D2RQ permite generar estos volcados de tripletas serializadas en formato *n-triples*. Se utiliza este formato por ser el más adecuado para persistir, en el proceso siguiente, los lotes generados en un T-Store, ya que su procesamiento requiere menores niveles de recursos de CPU y memoria.

Verificar si se generaron las cantidades de tripletas correctas. Las herramientas de línea de comandos *grep* y *wc*[5] permiten contar la cantidad de líneas en un archivo que contengan un patrón de texto especificado. Dado que bajo el formato de serialización n-triples cada línea del archivo de volcado corresponde a una tripleta, si se define correctamente el patrón de texto a buscar mediante el uso de expresiones regulares, se puede saber con exactitud la cantidad de ocurrencias de un modelo de tripleta que responden a cada uno de los grupos particulares que existen en el volcado.

2.3. Persistencia del Modelo Semántico

El objetivo es generar un repositorio persistente en el que se encuentre almacenado el modelo semántico junto con las instancias generadas anteriormente, listo para ser consultado. Este proceso consta de las tres actividades siguientes.

[5] http://manpages.ubuntu.com/

Crear un Triple Store. Para crear la Triple Store se seleccionó la combinación de las herramientas D2RQ y el Framework Jena. Para la selección de dichas herramientas se buscó alcanzar el mayor grado de interoperabilidad entre ellas, teniéndose en cuenta, además, la disponibilidad de documentación y madurez de los proyectos de desarrollo correspondientes. De los dos repositorios ofrecidos por Jena, SDB y TDB[6], se eligió el segundo, debido a que SDB ya no se encuentra en desarrollo activo, y además presenta mayor eficiencia y escalabilidad.

Cargar al Store cada una de las ontologías del modelo semántico. La gestión del repositorio y el acceso al mismo pueden realizarse programáticamente mediante una serie de métodos ofrecidos por la API del framework Jena, o mediante el uso de herramientas de línea de comando provistas por la plataforma. Para la carga masiva de datos, la segunda alternativa resulta más eficiente.

La herramienta de línea de comandos *tdbloader* permite la carga masiva de archivos RDF al almacén Jena TDB, y genera con cada carga los índices necesarios para optimizar el acceso a los datos. Se deben tener en cuenta dos restricciones de esta herramienta. En primer lugar, las ontologías a cargar deben encontrarse serializadas en formato RDF/XML. La segunda restricción es que *tdbloader* no es transaccional, lo que implica el bloqueo del repositorio durante las operaciones de carga, denegándose el acceso simultáneo desde otro proceso.

Cargar al Store cada uno de los lotes de tripletas generados. El proceso de carga se lleva a cabo con la herramienta *tdbloader*, la cual primero realiza la carga de tripletas al almacén para luego pasar a la fase de indexado.

2.4. Consulta al Modelo Semántico Persistido y Poblado

Para cada una de las preguntas de competencia planteadas en el DERO para el modelo semántico estudiado[6], se realizó una traducción a consultas en lenguaje SPARQL. El texto de cada consulta SPARQL se guardó en un archivo de texto con extensión .sparql, para luego utilizarlo en la ejecución de la consulta.

Finalmente, sobre el repositorio Jena TDB se ejecutó cada una de las consultas SPARQL. Esta tarea se puede llevar a cabo ejecutando la herramienta de línea de comandos *tdb-query* de la plataforma Jena TDB. Otra forma de resolver consultas SPARQL es utilizando el motor de ejecución de consultas ARQ mediante la API provista por el framework Jena. Este método brinda mayor flexibilidad, a costas de un mayor consumo de recursos y tiempos de respuesta.

3. Lecciones Aprendidas y Trabajos Futuros

En este trabajo se presentó una estrategia para persistir y poblar grandes ontologías para dar soporte a aplicaciones de Datos Abiertos siguiendo los principios

[6] https://jena.apache.org/documentation/tdb/

de Datos Enlazados. La misma se probó en dos tesis de maestría que requerían la población de ontologías con datos almacenados en sistemas de gobierno. De estas pruebas se pudo concluir que la estrategia es útil cuando la BD origen está compuesta por varias tablas y los mapeos entre los elementos de la BD y los del modelo semántico no son directos. Cuando hay pocas tablas, con muchos registros, y la herramienta de ontology learning permite crear de forma directa el modelo semántico y sus instancias, puede resultar más adecuada una herramienta como RDB2Onto [3].

La estrategia definida requiere contar con desarrolladores con conocimientos en tecnologías semánticas y definir un gran número de tripletas (en el caso presentado se definieron más de 50.000.000 de tripletas). Por ello, se desarrolló un prototipo de aplicación que guía en la implementación de la estrategia definida, el cual están fuera del alcance de este trabajo.

La estrategia propuesta está basada en D2RQ y el T-Store Jena TDB, sin embargo podría extenderse a otros lenguajes y T-stores.

Otro tema para trabajo futuro es la actualización de datos. En los casos estudiados los mismos se modifican una vez al mes siendo necesario realizar los pasos definidos para actualizarlos. En otros casos, el tema de la actualización debe reveerse.

Referencias

1. Brys, C., Montes, A.: Gobierno Electrónico 3.0. Aplicaciones de la Web Semántica a la Administración Pública. In: Anales del SIE 2011, Simposio de Informática en el Estado, pp. 15–30 (2011)
2. Calderón, C., Lorenzo, S.: Open Government: Gobierno Abierto. Algón Editores, España (2010)
3. Cerbah, F.,: Learning highly structured semantic repositories from relational databases: the RDBToOnto tool. In: Proc. 5th European semantic web conference on The semantic web: research and applications, pp. 777–781 (2008)
4. Cyganiak, R., Bizer, C., Garbers, J., Maresch, O., Becker, C.: The D2RQ mapping language, http://d2rq.org/d2rq-language (2012)
5. Heath, T., Bizer, C.: Linked Data: Evolving the Web into a Global Data Space. Morgan & Claypool, 1st ed. (2011)
6. Lozano, A.: Enfoque Basado en Ontologías para Brindar Acceso a la Información del Personal del Gobierno de la Provincia de Santa Fe. Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Argentina (2013)
7. Póveda-Villalón, M.: A Reuse-based Lightweight Method for Developing Linked Data Ontologies and Vocabularies. In: Simperl, E., Cimiano, P., Polleres, A., Corcho, O., Presutti, V. (eds.) The Semantic Web: Research and Applications. LNCS, vol. 7295, pp. 833–8379. Springer, Heidelberg (2012)
8. Villazón-Terrazas, B., Vilches-Blázquez, L., Corcho, O., Gómez-Pérez, A.: Methodological Guidelines for Publishing Government Linked Data. In: Wood, D. (ed.) Linking Government Data, pp. 27–49. Springer New York (2011)
9. Zins, C.: Conceptual Approaches for Defining Data, Information, and Knowledge. J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol. 58, 479–493 (2007)
10. Avison, D., Lau, F., Myers, M., Nielsen, P.: Action research. Commun. ACM 42, 94–97 (1999)

Un Modelo Ontológico para el Gobierno Electrónico

Carlos Roberto Brys[1], José F. Aldana-Montes[2], David Luis La Red Martinez[3]

1 Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Económicas,
Universidad Nacional de Misiones,
Av. Fernando Llamosas Km 7,5. Campus UNaM.
N3304. Posadas. Misiones. Argentina
brys@fce.unam.edu.ar
2 Departamento de Lenguajes y Ciencias de la Computación, Universidad de Málaga,
Boulevard Louis Pasteur 35. Campus de Teatinos.
29071 Málaga, España
jfam@lcc.uma.es
3 Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura,
Universidad Nacional del Nordeste,
9 de Julio 1449
C3400. Corrientes. Argentina
lrmdavid@exa.unne.edu.ar

Resumen. La toma de decisiones muchas veces requiere información que debe suministrarse con el formato de datos enriquecidos. Atender apropiadamente estas nuevas exigencias hace necesario que las agencias gubernamentales orquesten grandes cantidades de información de diversas fuentes y formatos, para ser suministrados eficientemente a través de los dispositivos habitualmente utilizados por las personas, tales como computadoras, netbooks, tablets y smartphones.
Para superar estos problemas, se propone un modelo para la representación conceptual de las unidades de organización del Estado, vistos como entidades georeferenciadas del Gobierno Electrónico, basado en ontologías diseñadas bajo los principios de los Datos Abiertos Vinculados, lo que permite la extracción automática de información a través de las máquinas, que apoya al proceso de tomas de decisiones gubernamentales y da a los ciudadanos un acceso integral para encontrar y hacer trámites a través de las tecnologías móviles.

Palabras clave: Web de datos, Gobierno Electrónico, Administración Pública, Web Semántica, Datos Vinculados, Datos Abiertos del Gobierno, Extracción Automática de Datos

1 Introducción

La ventaja de expresar la estructura organizativa del Estado como una ontología gobierno electrónico, es que se puede construir un modelo de información que permita la exploración de datos en función de los elementos que representan las asociaciones entre los objetos, las propiedades de los elementos y formalmente describir la semántica de la clases y propiedades utilizadas en relación de dependencia, temporal y espacial; facilitando así que se pueda realizar un razonamiento automatizado, la búsqueda semántica y conceptual, y proporcionar servicios a los sistemas de apoyo a las decisiones.

El modelo presentado, incluye el diseño de una ontología para el Gobierno Electrónico de la Provincia de Misiones en Argentina, utilizando el Lenguaje de Ontologías Web (OWL)[1] como resultado de un proyecto de investigación en la Universidad Nacional de Misiones con el gobierno provincial.

2. Trabajos Relacionados

En 2004 el proyecto OntoGov desarrolló una plataforma semánticamente enriquecida con que aliviaría la composición coherente, la reconfiguración y evolución de los servicios de administración electrónica. El objetivo del proyecto OntoGov fue definir una ontología genérica de alto nivel para el ciclo de vida de servicio de Gobierno Electrónico, que serviría de base para el diseño de ontologías de dominio de nivel inferior específicos a los servicios públicos; desarrollar una plataforma semánticamente enriquecida que permita a las administraciones públicas modelar la semántica y las formalidades de sus servicios de administración electrónica [16].

Al mismo tiempo, Vassilakis y Lepouras [17] propusieron una ontología para los servicios públicos del gobierno electrónico donde introdujeron una primera aproximación de la modelación de una ontología para el Gobierno Electrónico, sobre la base de la organización, la legislación, la responsabilidad administrativa y de servicios.

Con el fin de estructurar el campo de la administración electrónica, los términos y la vinculación de los proyectos a través del uso de las tecnologías semánticas, en el Instituto de Informática en la Empresa y Gobierno (IWV) en la Universidad de Linz,

[1] El Lenguaje de Ontologías Web (OWL) es una familia de lenguajes de representación del conocimiento, para publicar y compartir datos usando ontologías en la WWW.

se creó el proyecto del Portal Inteligente de Gobierno Electrónico. El resultado de este trabajo es una ontología de conocimiento y un mapa de gobierno electrónico [12].

Las “Ontologías para el eGovernment” (oeGOV), un proyecto desarrollado por TopQuadrant y dirigido por Ralph Hodgson, fue un trabajo pionero en la creación de una ontología para el gobierno electrónico [9]. El punto de partida del proyecto fue un modelado de las agencias de Estados Unidos y su estructura. Como resultado de la obra, se crearon y publicaron en el sitio web *www.oegov.org* una serie de ontologías fundacionales para el gobierno electrónico de Estados Unidos.

Para resolver los problemas de representación, Lacasta-Miguel [11] amplió un modelo de ontologías en tres niveles: una ontología de nivel superior que define los tipos de datos y las relaciones generales independientes del contexto. Una ontología de dominio donde los conceptos y relaciones reutilizables se definen en el contexto de los modelos administrativos de diferentes países; y una ontología de aplicación, donde están representados los tipos específicos de las unidades administrativas de cada país, junto con casos específicos de las unidades existentes.

Más enfocados en los servicios de gobierno electrónico, Hreño [10] y Ouchetto [13] plantearon el acceso, la recuperación y la integración de servicios utilizando ontologías. Considerando que la terminología relacionada con el campo de la administración electrónica es variada, proponen dividir la ontología en las sub-ontologías (ontologías sectoriales). Para resolver la complejidad de la modelización conceptual en escenarios complejos basados en la interoperabilidad semántica [2] proponen un método mediante el uso de ontologías de dominio y donde las fuentes de información son bases de datos, documentos legales y las personas.

3. Marco Teórico

Vamos a utilizar el término "Estado" como definición de un concepto político que se refiere a una forma de organización social y políticamente soberana, formada por un grupo de instituciones. Estas instituciones se estructuran funcionalmente en unidades administrativas, que son los elementos básicos de las estructuras organizativas. En general, la organización de un Estado se distingue por: Funciones, Instituciones y Autoridades. El alto grado de diversidad y especialización de las unidades administrativas demandan un modelo coherente para facilitar su gestión y simplificar el uso [11].

3.1. Datos Abiertos Vinculados del Gobierno (LGOD)

Tim Berners Lee esbozó un conjunto de normas para la publicación de datos en la Web, de forma que todos los datos publicados se convierten en parte de un espacio único de datos globales [1]. Estos son conocidos como los "Principios de los Datos Vinculados". Datos Vinculados (Linked Data) es un modelo estándar para el intercambio de datos en la web. Este término se utiliza para describir una práctica recomendada para exponer y compartir piezas de conexión de datos, información y conocimiento sobre la Web Semántica utilizando URI y RDF.

La utilización de las tecnologías semánticas es imprescindible para un Gobierno Electrónico con LGOD. Con LGOD, los ciudadanos pueden utilizar la web para vincular datos y utilizarlos aunque no estuvieran vinculados con anterioridad, generando aplicaciones acordes a sus necesidades [3].

3.2. Ubicación Espacial de los Datos: GeoDatos

Según [6], del 60% al 80% de las decisiones que afectan a los ciudadanos se relacionan con la información geográfica, la cual es cada vez más importante es aspectos vitales como el transporte, la energía, la agricultura, la protección del medio ambiente, la silvicultura, las regulaciones para el uso de la tierra, el desarrollo planificado, las TIC, la cultura, la educación, los seguros, la defensa nacional, la atención de la salud, la seguridad interna, la prevención de desastres, la defensa civil, y la provisión de servicios públicos.

LinkedGeoData[2] añade una dimensión espacial a la Web de Datos. Permite levantar datos de OpenStreetMap[3] en la infraestructura de la Web Semántica, y los hace accesibles como una base de conocimiento RDF según los Principios de los Datos Vinculados. Esto simplifica las tareas de integración de información y de agregación que requieren un amplio conocimiento de fondo relacionado con el ámbito espacial [15].

4. Un Nuevo Modelo de Ontología de Gobierno Electrónico (OGE)

Según Gruber [7], las ontologías son una manera formal y explícita para definir una conceptualización para el intercambio de conocimientos. La idea fundamental

[2] LinkedGeoData http://linkedgeodata.org/

[3] OpenStreetMap http://www.openstreetmap.org/

detrás de estas tecnologías es lograr que las computadoras puedan comprender por sí solas los datos, minimizando la participación humana en dicho proceso.

Con el fin de especificar la OGE para representar al Estado y su estructura organizativa partimos del modelo de tres capas propuesto por Guarino [8] y revisado por Lacasta-Miguel [11], y lo extendemos añadiendo una nueva capa de ontologías bajo los principios de los Datos Abiertos Vinculados, como se muestra en la Figura 1.

El modelo de ontología extendido tiene:

- Una ontología de alto nivel que define los conceptos de Estado, los Poderes, el marco legal, los conceptos básicos, tipos de datos y las relaciones generales, independiente del contexto.

- Una ontología de dominio que define la estructura organizativa y describe en detalle las unidades administrativas específicas, sus jerarquías, dependencias y relaciones.

- Otras ontologías externas y sus relaciones de vinculación a través de los Datos Abiertos Vinculados que enriquecen los datos de los individos instanciados y provee la información geoespacial.

- Y varias ontologías de aplicación de los trámites, servicios, y sus instancias.

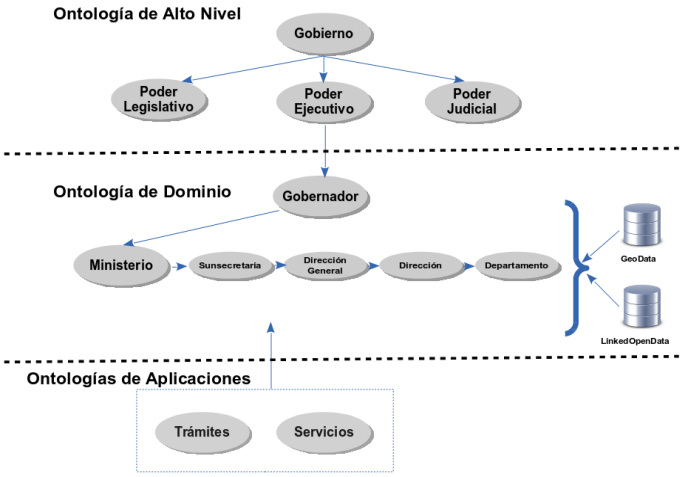


Fig. 1. Modelo de la Ontología de Gobierno Electrónico.

Para construir la OGE, utilizamos la metodología Methontology [4], [5], que fue creada en el Laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad Politécnica de Madrid. La razón de esta elección es el fuerte apoyo de herramientas de software, la independencia de la plataforma, es recomendada por la Fundación para Agentes

Físicos Inteligentes (FIPA) para el desarrollo de ontologías, ha sido probada en varios proyectos a gran escala y se ha aplicado con éxito en el desarrollo de ontologías para la gestión del conocimiento de gobierno abierto [14], [2].

Por lo tanto, siguiendo las pautas metodológicas de Methontology, para la *especificación*, se definió el alcance y la granularidad. Para el proceso de *conceptualización*, se relevó la estructura organizacional y las normas legales que la sustentan. Estos datos actualmente se registran en formularios de papel y organigramas. Los diferentes conceptos que se estudiaron fueron enumerados, a continuación, se agruparon por similitud y utilidad. Para el mapeo de los organigramas del árbol de la estructura administrativa utilizamos la aplicación CmapTools COE. Para la etapa de *implementación*, los organigramas representados en los mapas conceptuales fueron exportados al Lenguaje de Ontologías Web (OWL) y luego editadas usando el editor OWL Protégé de la Universidad de Standford para añadir las clases, atributos, relaciones y datos de geolocalización.

En el nivel superior, definimos las super clases relacionadas con conceptos generales, como Estado, el Gobierno, los Poderes, el marco legal y el territorio. Luego, para el nivel de dominio específico, definimos las clases de gobierno electrónico para la estructura administrativa y de los puestos, la gobernación y su estructura ministerial, la infraestructura (edificios), las oficinas de atnción al público y los agentes. En esta etapa hemos modelado la organización administrativa de acuerdo con la recomendación de la W3C para ontologías de organización [18]. Esta ontología describe a la gobernación, la vicegobernación, 10 ministerios, 37 subsecretarías, 68 direcciones generales, 114 direcciones, y 326 departamentos.

Finalmente en el nivel de aplicación definimos las clases para los trámites y servicios para los ciudadanos. Para cada clase, buscamos sus instancias, las incorporamos a la ontología específica y las mapeamos con otras si fuera necesario.

Esta relación entre el Estado, el gobierno y sus divisiones se puede representar en lógica descriptiva con la propiedad *has*, el subgrupo, la cuantificación existencial y Símbolos de la unión de la siguiente manera:

$$\text{Estado} \subseteq \exists\ \text{hasPower}.(\text{Ejecutivo} \cup \text{Legislativo} \cup \text{Judicial})$$
$$\text{Ejecutivo} \subseteq \exists\ \text{hasDivision}.\ (\text{Gobernador} \cup (\text{Ministerio} \cup ... \cup \text{Ministerio})$$
$$\text{Ministerio} \subseteq \text{Subsecretarías} \subseteq \text{Direcciones Generales} \subseteq \text{Direcciones} \subseteq \text{Departamentos}$$

Además de la organización administrativa, se necesitan representar a los otros elementos del Estado. Para ello, desarrollamos las ontologías que describen el marco jurídico, el territorio (para lugares geolocalizados), la infraestructura (para oficinas administrativas) y la estructura de los puestos administrativos (las personas).

4.1. Mapeo de Ontologías

Un modelo de ontología taxonómica no puede representar satisfactoriamente la complejidad del Estado, entonces es necesario ampliar el dominio de la OGE vinculándola con otras fuentes de información externa y abierta. Para esto, son reutilizadas otras ontologías por ejemplo OSMonto: una ontología de las etiquetas de OpenStreetMap, donde cada organización administrativa individual en la OGE está representada en OpenStreetMap por un "nodo" o una "via". Estos nodos tienen las "etiquetas" definidas en la ontología OSMonto que coinciden con algunos atributos de los individuos en la ontología OGE. También relacionamos la OGE con otras fuentes de datos como FOAF, DBpedia, GeoNames y LinkedGeoData, como se muestra en la Figura 2.

En un primer paso, nos enfocamos sólo en las oficinas administrativas que están abiertas al público y ofrecen un servicio del gobierno. Cada individuo está vinculado a su nodo geolocalizado en OpenStreetMap, y GeoNames. Esto permite la integración con un amplio espectro de fuentes de datos abiertos locales y externas.

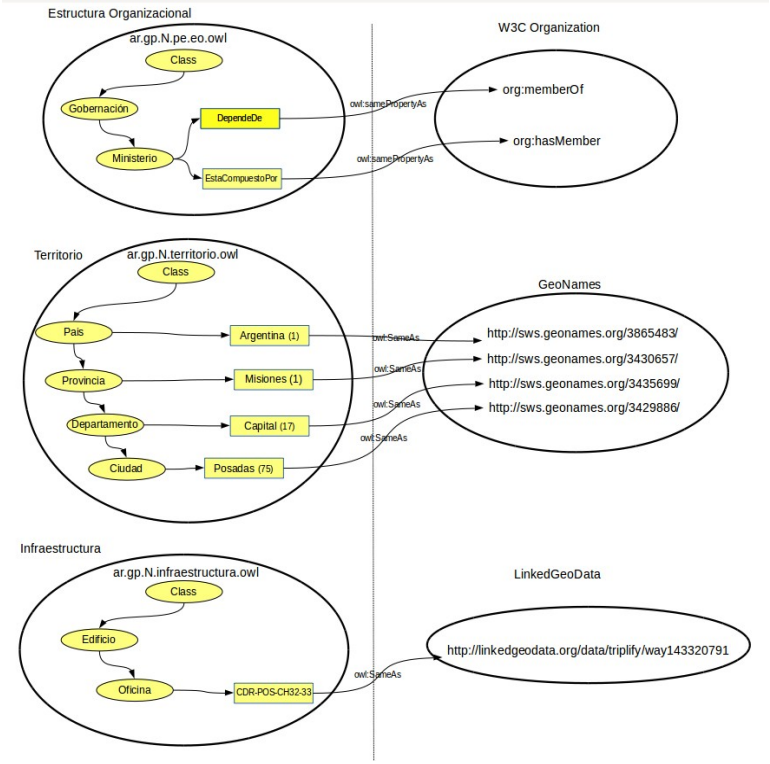


Fig. 2. Mapeo entre de la Ontología de Gobierno Electrónico y Datos Abiertos Vinculados.

Como un caso de uso, planteamos una situación donde un ciudadano desea obtener un nuevo DNI. La consulta a la ontología se puede representar en un grafo, tal como se muestra la Figura 3, que representa gráficamente un ejemplo de las instancias interrelacionadas de "Nuevo_DNI" y "Posadas".

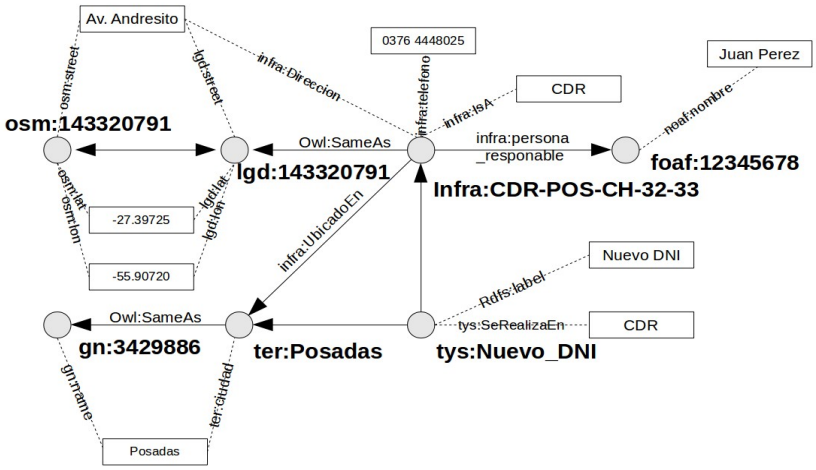


Fig. 3. Instancias enlazadas para Nuevo_DNI y Posadas.

Definiciones: V es un conjunto de vértices que son las etiquetas de los conjuntos de datos que tienen las instancias *SameAs* enlazados, E $\subseteq$ V × V es un conjunto de aristas *sameAs*, e I es un conjunto de URIs de las instancias sameAs interrelacionadas.

GDNI = (V, E, I), donde

V = {S, T, O, L, I, G, F},

E = {(S, T), (S, I), (I, F), (I, L), (L, O), (T, G)},

I = {TYS:Nuevo_DNI, ter:Posadas, osm:143320791, lgd:143320791, infra:CDR-POS-CH-32-33, gn:3429886, foaf:12345678.

S, T, O, L, I, G y F representan las etiquetas de los onjuntos de datos de Trámites y Servicios, Territorio, OSM, LinkedGeoData, Infraestructura, GeoNames y Personas respectivamente.

5. Conclusiones y Trabajos Futuros

Hemos propuesto un enfoque original que replantea la forma en que la literatura existente define la forma de la prestación de servicios públicos, en los que los

ciudadanos tienen que saber dónde y cómo hacer sus trámites. Con este modelo, los servicios públicos son los que encuentran a los ciudadanos y lo entregan dondequiera que ellos estén, en sus propios dispositivos móviles.

También llegamos a la conclusión de que el actual modelo es adecuado como un marco de apoyo para la integración y la interoperabilidad de los servicios públicos prestados por las oficinas de administración distribuidas geográficamente.

En conclusión, el modelo propuesto es un paso exitoso en la evolución del gobierno electrónico a un nivel semántico, contribuye a la integración e interoperabilidad de los procesos que van más allá de las fronteras geográficas y los estados administrativos, y alcanzar la meta más importante del gobierno electrónico: prestar servicios más eficientes para los ciudadanos, ahorrando su tiempo y dinero.

Referencias

1. Berners-Lee T. (2006). Linked Data. http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html
2. Brusa, G., Caliusco, M. L., & Chiotti, O. (2013). Gestión del Conocimiento en el Gobierno Abierto: Ontologías de Dominio. In JAIIO (Ed.), 42 Jorandas Argentinas de Informática. 7mo Simposio Argentino De Informatica En El Estado (pp. 8–22). Córdoba. Retrieved from http://42jaiio.sadio.org.ar/proceedings/simposios/Trabajos/SIE/12.pdf
3. EGW3C (2008) eGovernment at W3C. Use Case: Open Government: Linked Open Data. http://www.w3.org/egov/wiki/Use_Case_8_-_Linked_Open_Government
4. Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., Juristo, N. (1997): Methontology: from ontological art towards ontological engineering. In Proc. Symposium on Ontological Engineering of AAAI. (33-40)
5. Gómez-Pérez A., Fernández-López M., Corcho O., (2004). Ontological Engineering, Editorial: Springer Verlag GmH & Co. ISBN: 1-85233-551-3
6. GPSC The Geoportal of the Swiss Confederation. (2011) http://www.geo.admin.ch/internet/geoportal/en/home.htm
7. Gruber, T. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition 199–220.
8. Guarino N. (1998). Formal Ontologies and Information Systems. Proceedings of FOIS'98, 3-15. Trento, Italy
9. Hodgson R., Allemang D., (2006), Semantic Technology For e-Government, Semantic Web and Beyond Volume 3, 2006, pp 283-303, Springer US, ISBN 978-0-387-30239-3.
10. Hreño, J., Bednár, P., Furdík, K., & Sabol, T. (2011). Integration of government services using semantic technologies. Journal of Theoretical and …, 6(1), 143–154. doi:10.4067/S0718-18762011000100010

11. Lacasta-Miguel, J., López-Pellicer, F.J., Floristán-Jusué, J., Nogueras-Iso, J., Zarazaga-Soria, F.J.(2006): Unidades administrativas, una perspectiva ontológica. Avances en las Infraestructuras de Datos Espaciales. Treballs dínformática i tecnologia. Castelló de la Plana: Universidad Jaime I de Castellón. (85-94). ISBN 84-8021-590-9.
12. Orthofer G. and Wimmer M., (2006), An Ontology for eGovernment: Linking the Scientific Model with Concrete Projects, Semantic Web Meets eGovernment, Papers from the 2006 AAAI Spring Symposium: Semantic Web Meets eGovernment, pp. 96-98.
13. Ouchetto, H., Ouchetto, O., & Roudiès, O. (2012). Ontology-oriented e-gov services retrieval. IJCSI International Journal of Computer Science, 9, 99–107.
14. Sabucedo L., Rifon L., (2006) Semantic Service Oriented Architectures for eGovernment Platforms. American Association for Artificial Intelligence. AAAI. In Proc. 2006 AAAI Spring Symposium.
15. Stadler C., Lehmann J., Höffner K., Auer S., (2011) LinkedGeoData: A Core for a Web of Spatial Open Data. Semantic Web -Interoperability, Usability, Applicability an IOS Press Journal, 1570-0844/0-1900
16. Tambouris E., Gorilas S., Kavadias G., Apostolou D., Abecker A., Stojanovic L., Mentzas G., (2004), Ontology-enabled E-government Service Configuration-the OntoGov Approach. Springer Berlin Heidelberg. Knowledge Management in Electronic Government. Lecture Notes in Computer Science Volume 3035, 2004, pp 122-127.
17. Vassilakis, C., & Lepouras, G. (2006). Ontology for e-Government Public Services. Encyclopedia of E-Commerce, E-Government, and Mobile Commerce (pp. 865-870).
18. (W3C) The World Wide Web Consortium (2013). Recommendation for "The Organization Ontology". Available a. http://www.w3.org/TR/vocab-org/

DCOntoRep: hacia la interoperabilidad semántica de Repositorios Institucionales de Acceso abierto

Sandobal Verón, Valeria C.; Ale, Mariel; Gutiérrez, María de los Milagros

GIESIN, UTN FRR Resistencia, H3500CHJ, Argentina – vsandobal@frre.utn.edu.ar
CIDISI, UTN FRSF, Santa Fe, S3004EWB, Argentina

Resumen. Debido a la heterogeneidad de los sistemas que sirven de repositorio para el almacenamiento de objetos digitales, ha surgido con interés el desarrollo de ontologías que permita interpretar de manera correcta el significado de los conceptos involucrados. Los objetos digitales depositados en repositorios deben ser etiquetados, catalogados y clasificados y para ello se utilizan los llamados metadatos, que proveen información sobre los objetos digitales. Es así que surgen estándares de metadatos tales como Dublin Core (DC) para la descripción de recursos web, Learning Object Model (LOM) para la descripción de recursos educativos específicamente; entre otros. Si se considera que se busca la comunicación entre los repositorios existentes, se hace necesaria la correcta interpretación semántica de los conceptos involucrados en los metadatos. La adopción de uno de estos estándares para la implementación de un repositorio depende de los objetivos que la institución ejecutora persiga. El presente trabajo propone una ontología para el estándar DC con las directrices del Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD). Teniendo en cuenta que el estándar DC es el más utilizado por los repositorios actualmente vigentes y las directrices SNRD lo utilizan a fin de poder adherir un futuro repositorio institucional a los cosechados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

Keywords: objetos digitales, estándares de metadatos, Repositorios institucionales de acceso abierto, Dublin Core, recomendaciones SNRD

1 Introducción

En los últimos años se ha visto un incremento considerable en el uso e implementación de Repositorios institucionales de acceso abierto a partir de la promulgación de la ley 26899[1] que exige a los organismos e instituciones públicas que forman parte del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología publicar en acceso abierto, su producción científica – tecnológica. En este contexto, surge un extenso conjunto de problemáticas que deben ser resueltas, entre las cuales se puede

[1] Sitio Web Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Ley 26899.http://repositorios.mincyt.gob.ar/recursos.php

mencionar las tecnológicas, relacionadas con la implementación, funcionamiento y uso. Este trabajo hace su aporte en el área de la interoperabilidad, específicamente en la interoperabilidad semántica de la información almacenada.

El valor de un repositorio institucional de acceso abierto es su potencial para interoperar con otros repositorios formando una red de repositorios la cual configura una infraestructura de e-investigación [1]. Para lograr este objetivo, surge la necesidad de estandarizar la manera de describir los objetos almacenados, de forma tal que permitan búsquedas más concretas de los recursos disponibles, como así también la reutilización de los mismos. Es así que surgen estándares de metadatos tales como el Dublin Core (DC – Metadata Element Set)[2] que permite la descripción de cualquier tipo de recurso disponible en la web y LOM Learning Object Model [3] el cual se utiliza para la descripción de recursos educativos específicamente. Sin embargo el simple uso de estos estándares no garantiza la correcta localización y descripción de los recursos, por lo tanto el Sistema Nacional de Repositorios Digitales (SNRD) ha establecido una normativa donde se especifica la forma en que dichos metadatos deben ser completados [4].

El objetivo de este trabajo es aportar una herramienta semántica, específicamente una ontología denominada *DCOntoRep*, que dé soporte a la descripción de objetos de aprendizajes (LO por su sigla en inglés Learning Object) de una manera estandarizada, considerando no sólo el estándar DC sino también incorporando las directivas de SNRD a través de la definición de axiomas, reglas de derivación e instancias en la ontología propuesta. La misma será implementada en el Repositorio Institucional (RI) que se obtenga como resultado del proyecto de investigación que actualmente se está llevado a cabo en centro de investigación CIDISI – Facultad Regional Santa Fe: "Desarrollo e Implementación de un repositorio institucional de acceso abierto para objetos digitales educativos". Dado que dicho repositorio se plantea para albergar objetos digitales educativos, es decir aquellos generados desde la parte académica de la universidad, como así también desde el área de investigación y tecnología, es que en este trabajo se considera apropiado utilizar el concepto de LO, teniendo en cuenta que el mismo puede definirse como "una entidad, digital o no digital, que puede ser utilizada, reutilizada y referenciada durante el aprendizaje apoyado con tecnología" [5], o como lo define García Aretio [6]: "archivos o unidades digitales de información dispuestos con la intención de ser utilizados en diferentes propuestas y contextos pedagógicos."

Se define el objetivo de ***DCOntoRep*** como: "***representar la semántica explícita en las etiquetas utilizadas por el estándar DC y las directrices SNRD que permita mejorar la búsqueda, reutilización y depósito de LO, en los repositorios institucionales que utilizan este estándar***".

2 Desarrollo de DCOntoRep

Una ontología es una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida [7]. Por lo tanto debe tener una especificación, una definición y debe ser explícita teniendo en cuenta el contexto en el que se la está utilizando; además de que

la misma es compartida, por lo cual debe ser entendida por al menos dos actores involucrados en la especificación.

La ontología que a continuación se presenta, tiene como base de información un archivo semiestructurado XML. Según [8] los métodos propuestos para el aprendizaje de una ontología se pueden clasificar en: aprendizaje desde corpus de texto, aprendizaje desde instancias, aprendizajes desde esquemas y aprendizajes desde mapeos semánticos. Siguiendo la propuesta realizada por [9] a partir de archivo XML generado con las etiquetas del estándar DC se aplican las heurísticas definidas tales como: las clases OWL surgen de tipos complejos (<xsd:complexType>); la figura 1(a) muestra esta heurística con el tipo complejo *LearningObject.* Las clases OWL surgen de elementos a nivel de esquema de un tipo complejo; la figura 1(b) muestra esta heurística con el tipo complejo *Title* que es parte del esquema DCMetadata. Los *Object Property* (relaciones) en OWL, surgen a partir de las relaciones entre elementos y subelementos del archivo XML, como se muestra en la figura 2 con la relación *hasSubject.* Los *Data Property* (atributos) de OWL surgen de tipos simples, tales como xs:date, xs:string, mostrado en la figura 3.

En este mapeo resulta necesario, algunas otras conversiones tale como: facetas para restringir valores de elementos simples como *Enumeration*, que pueden ser definido en OWL2 como valores de rango para los data property y los valores de *MinOccurs* y *MaxOccurs* se especifican como valores que deben ser cumplidos en la estructura del *Equivalent to*

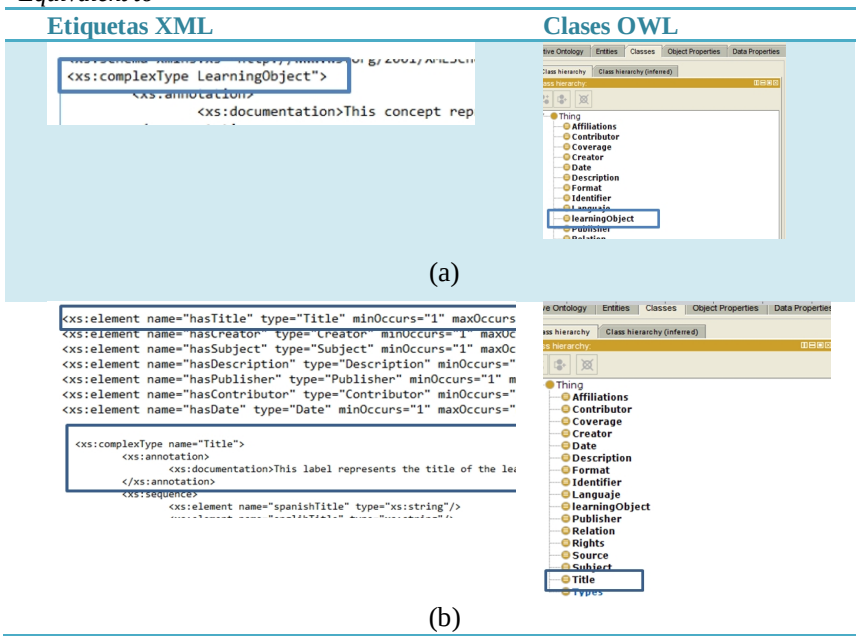


Fig. 1. Mapeos entre elementos de XML a clases OWL

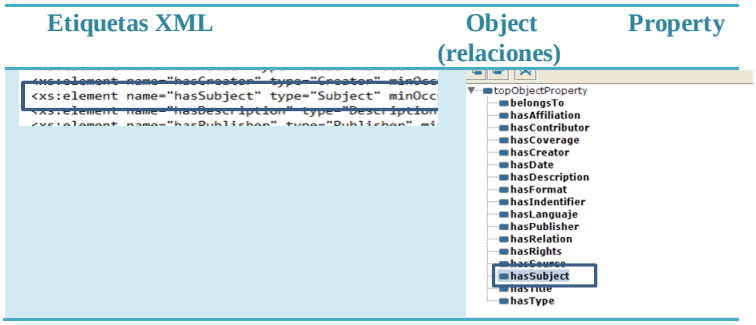


Fig. 2. Etiquetas XML mapeadas a relaciones OWL

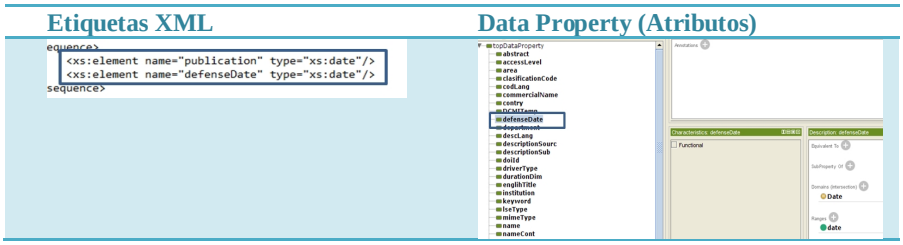


Fig. 3. Etiquetas XML a Data Property OWL

Luego del mapeo propuesto desde el schema XML se realizaron los pasos sugeridos por el método basado en Meta-Modelo de Ingeniería de Procesos de Software y Sistemas, versión 2.0, Software & System Process Engineering Meta-Model, SPEM.0 [10]. En su desarrollo, se tuvieron en cuenta las directrices SNRD y se formularon algunas preguntas de competencia que permitan la validación. Posteriormente, se analizaron las directivas del SNRD para enriquecer la ontología agregando relaciones, axiomas y reglas que fueran necesarias.

El gráfico de la figura 4 muestra los principales conceptos definidos en la ontología *DCOntoRep.* Se define el concepto *LearningObject* para representar los objetos de aprendizaje que son descriptos a través de metadatos. El concepto *DcMetadata* abstrae los metadatos de DC. Como subclases de este concepto se definieron tres clases correspondientes a cada una de las categorías especificadas en DC: (i) *Content*, que agrupa los metadatos para describir el contenido de un recurso, (ii) *IntellectualProperty* que agrupa los metadatos que describen las cuestiones referentes a la propiedad intelectual y derechos de uso del recurso y finalmente (iii) *Instantiation* correspondiente a los metadatos que describen cuestiones técnicas de la instancia del recurso que describen.

Como subclases de *content* se definieron los conceptos: *Title*, para contener el título del LO; *Subject*, que representa el dominio del LO; *Description* permite describir el LO a través de un texto significativo; *Source*, identifica un objeto digital que se ha tenido en cuenta para la formulación del LO; *Language* identifica el lenguaje

correspondiente al LO*; Relation* permite identificar otras versiones del LO que se describe; *Coverage* se refiere al alcance o ámbito del LO, generalmente incluye la ubicación espacial, un período de tiempo o la jurisdicción. Para el concepto *IntellectualProperty* se representaron las siguientes subclases: *Contributor* que identifica el/los colaborador/es que hayan aportado al contenido del LO, el cual puede ser una entidad o una persona con cargo como por ejemplo directores, supervisores, editores, entre otros; *Creator* que identifica el/los autor/es principal del LO; también puede designar una institución o un evento; *Publisher* corresponde al publicador o editor que hace posible que el recurso esté disponible (puede ser una persona, una organización o un servicio); *Right* identifica los derechos de autor asociados al LO. Luego como subclases de *Instantiation* se identificaron los siguientes conceptos: *Date* que especifica la fecha de creación o disponibilidad del LO*; Type* que establece el tipo de resultado científico, como puede ser un artículo o un libro entre otros*; Format* que identifica el formato físico o digital del LO*;* e *Identifier* hace referencia a una URL o URI que identifica unívocamente al LO.

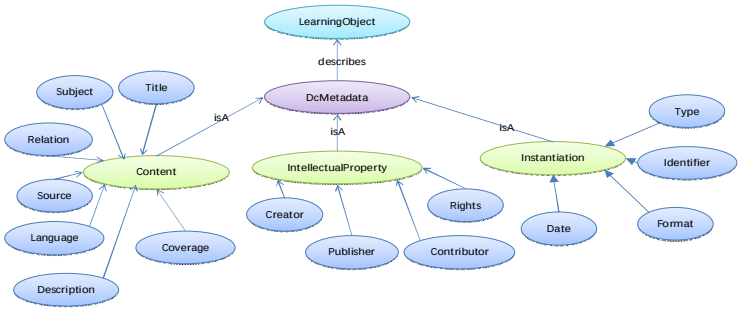
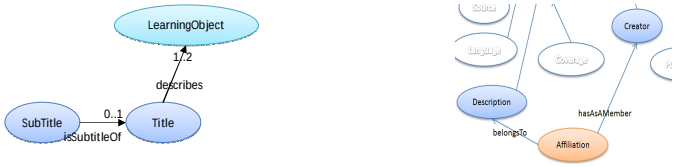


Fig. 4. Ontología DCOntoRep

2.1 Enriquecimiento de la ontología

El principal objetivo del enriquecimiento de la ontología es el mejoramiento en la representación de las entidades de la ontología base modeladas según el dominio. Para realizar esta actividad se tomaron las directrices impuestas por el SNRD. De esta forma, para cada uno de los metadatos, se establece cuestiones relacionadas a la obligatoriedad o no de dicho metadato, la posibilidad de repeticiones y el formato del contenido de los metadatos. Así por ejemplo se determina que el metadato *Title* es obligatorio, en caso de que exista subtítulo debe estar separado del título por dos puntos y si la obra tiene títulos en distintos idiomas deben aparecer dos instancias del metadato, una para cada título. Para reflejar esta restricción se agregó a la ontología el concepto *SubTitle* relacionado con *Title* a través de la relación *isSubTitleOf* (relación inversa *hasSubTitle)* como se muestra en la figura 5(a). Las restricciones de repetición y obligatoriedad se implementaron a través de restricciones de cardinalidad.



(a) (b)

Fig. 5. Modificaciones a la ontología según directrices SNRD

Siguiendo las directrices del SNRD, la etiqueta *description* debe especificarse también las afiliaciones de cada uno de los autores del LO. La afiliación corresponde a la institución/universidad a la que pertenecen los autores. Para dar cumplimiento a estas indicaciones, tal como se muestra en la figura 5(b), se agregó la clase *Affiliation*, la cual se encuentra relacionada con la clase *Creator* a través de la relación *hasAsAMember* y con la clase *Description* a través de la relación *belongsTo*. Affiliation tiene dos atributos: *institution* y *department*. Para representar la restricción de que todo autor tenga una afiliación correspondiente, se definieron axiomas de integridad como muestra la expresión lógica (1).

$$CreatorWithAffiliation \equiv Creator \cap \exists hasAffiliation.Affiliation \cap \forall hasAffiliation.Affiliation \quad (1)$$

Este mismo proceso de enriquecimiento se siguió para todas las directrices definidas por el SNRD. Las mismas recomiendan el uso de estándares para completar metadatos tales como la norma ISO 639[2](metadadato *language)* y la norma ISO 3166[3](metadato *coverage)*. Para reflejar esto, se importaron dos ontologías que conceptualizan dichas normas.

En el caso de la ontología importada ISO639 se encuentra el concepto *Language* con dos atributos *alpha2*(ISO 639-1) y *alpha3*(ISO 639-2). Las directrices SNRD recomienda el uso de la ISO 639-3 para la codificación de la etiqueta *Language* representada por el atributo *alpha3* en la ontología ISO639.

Luego, se eliminó la clase *Language* de la ontología DCOntoRep y se la sustituye con la clase *Language* de la ontología importada ISO639, dejando como atributo solo *alpha3*. En la Figura 6 se muestra el antes y después de este proceso de enriquecimiento.

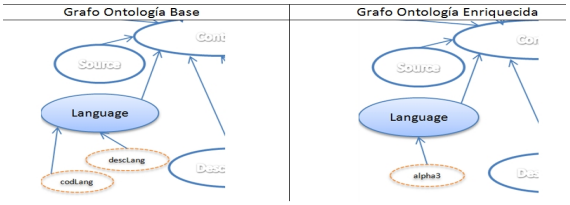


Fig. 6. Comparación Ontología Base – Ontología Enriquecida. Clase *Language*

[2] http://www.iso.org/iso/es/home/standards/language_codes.htm
[3] http://www.iso.org/iso/home/standards/country_codes.htm

Para el caso de la ontología ISO3166 al importarla se incorpora la clase *Country* y los atributos *code* y *name*; además para relacionar la clase *Coverage* con la nueva clase *Country* se agrega la relación *coversA* (Figura 7). Según las directrices del SNRD la ISO 3166 a utilizar es la 2, que define los códigos de identificación de las principales subdivisiones (provincias o estados) de todos los países codificados en ISO 3166-1; así Argentina, Provincia del Chaco, estaría codificado como AR-H.
Para la etiqueta *type* es necesario agregar los atributos que responden a los vocabularios controlados sugeridos por el SNRD; se agrega: *driver*: resultado científico en términos del vocabulario controlado DRIVER; *snrdType*: subtipo del resultado científico acordados por el SNRD; *version*: indica la versión del LO según el vocabulario controlado DRIVER(*draft, submittedVersion, acceptedVersion, publishedVersion* y *updateVersion)*. Las instancias de *driver* y *snrdtype* se establecen como obligatorias y la de *version* como opcional, todos estos casos se reflejan a través de restricciones de cardinalidad, tal como se muestra en la figura 8

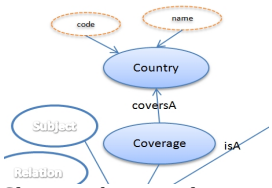


Fig. 7. Clases, atributos y relaciones agregadas al importar la ontología ISO 3166-2

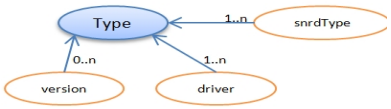


Fig. 8. Restricciones de Cardinalidad para los atributos de la clase Type

A la ontología enriquecida, se le ha sumado reglas con el uso de SWRL que permiten clarificar ciertas reglas de negocio que no han podido ser expresadas a través de clases, atributos, relaciones, y que deben formar parte del conocimiento de la ontología.
Según las directrices SNRD, si un LO es del tipo *doctoralThesis*, *masterThesis* o *bachelorThesis* para el atributo *driver*; es obligatorio incluir al menos un colaborador, definido como director de la tesis, lo cual se especifica en la regla(2):

$$LO(?l) \wedge (hasType(?t,\text{"doctoralThesis"}) \vee hasType(?t,\text{"masterThesis"}) \vee hasType(?t,\text{"bachelorThesis"})) \rightarrow hasContributor(?l, ?t) \quad (2)$$

Las directrices SNRD establece que para cada tipo de la clasificación *driver* corresponde un subconjunto de tipos establecidos por el propio SNRD, por ejemplo si un LO es *bachelorThesis* en *driver*, corresponderá al tipo *tesis de grado* o *trabajo final de grado* para el tipo snrd, tal como se muestra en la expresión (3).

$$Type(?t) \wedge driver(?t, \text{"bachelorThesis"}) \rightarrow snrd(?t,\text{"tesis de grado"}) \vee snrd(?t,\text{"trabajo final de grado"}) \quad (3)$$

Si *driver* es *review*, corresponderá al tipo *reseña artículo* o *revisión literaria* para el tipo snrd como se muestra en la expresión (4).

$$Type(?t) \wedge driver(?t, \text{"review"}) \rightarrow snrd(?t,\text{"reseña artículo"}) \vee snrd(?t,\text{"revisión literaria"}) \quad (4)$$

Así mismo, podríamos agregar reglas que cierren el mundo sobre el cual se está trabajando, donde por ejemplo se establezca que si un LO tiene dos autores y esos auto-

res son instancias diferentes entre sí, uno de ellos es colaborador del autor del LO, tal como se define en la expresión (5).

LO(?l) ^ hasCreator(?l, ?c1) ^ hasCreator(?l, ?c2) ^differentFrom (?c1, ?c2)
-> hasContributor(?c1, ?c2) (5)

3 Caso de estudio.

Con el objetivo de validar la ontología obtenida se pobló la misma con instancias que permitan ejecutar consultas en SPARQL que respondan a las preguntas de competencia presentadas en la Tabla 1. Para ello se tomó como ejemplo un documento de conferencia cuyo autor es *Sandobal* perteneciente al grupo de investigación *GIESIN* de la *UTN-FRRe*. Como colaborador se encuentra *Gutiérrez*, que cumple el rol de director. La publicación del artículo está a cargo de la *UTN-FRRe*, en particular de la Secretaría de Ciencia y Tecnología. Los derechos que se han establecidos en relación al nivel de acceso es de acceso libre (open Access, según la definición establecida por el SNRD) y la uri en la que se basa este tipo de licencia es http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/ar/, las instancias que se muestran en la figura 9 correspondientes a la categoría *Intellectual Property*. En la figura 10 se puede visualizar las instancias de la categoría *Content*, donde el título del artículo es "*Hacia la integración*". El idioma es *Español*, por lo cual el código alpha3 es *spa*. Una de las fuentes que se ha tenido en cuenta para el desarrollo del artículo se ha identificado con el ISBN: 978-950-42-0142-7. Un documento relacionado estás identificado con la URI http://www.ssoar.info/es/home/sobre-ssoar.htm. El dominio está definido por las palabras claves repositorio y acceso abierto. El ámbito está determinado como en *Argentina-Chaco*, donde el código es *AR-H*. Para la categoría *Instantation*, que se muestra en la figura 11, se estableció como fecha de publicación *2014-06-12*, el formato según la clasificación *Mime Type* corresponde a *text*, el tipo es *documento de conferencia*, según Driver corresponde a *document conference* y la versión es *accepted*. La URL a la cual se puede ingresar para tener acceso al artículo es http://www.frre.utn.edu.ar/secyt/paginas/view/item/ii_jornadas_de_investigacion_en_ingenieria_del_nea_y_paises_limitrofes.

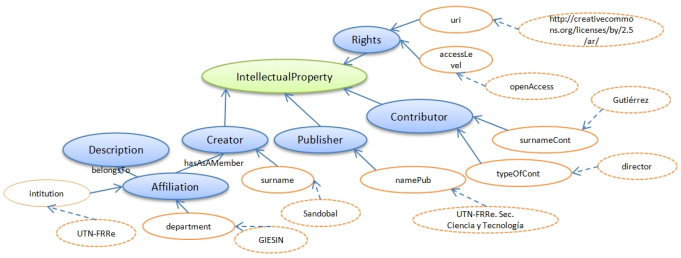


Fig. 9. DCOntoRep – Subclase *IntellectualProperty* y sus instancia

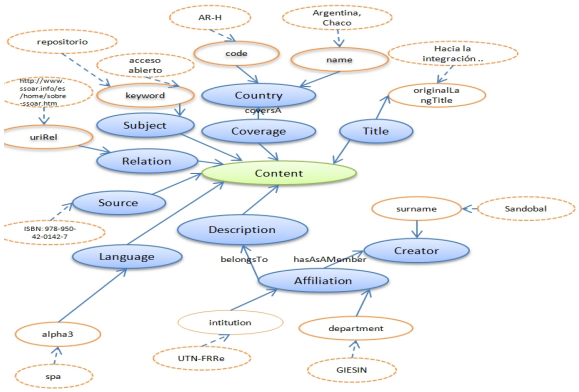


Fig. 10. DCOntoRep – Subclase *Content* y sus instancias

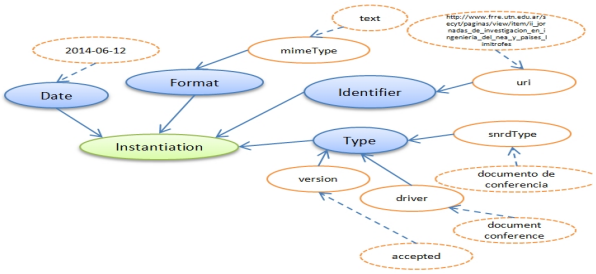


Fig. 11. DCOntoRep – Subclase *Instantiation* y sus instancias

En la tabla 2 se muestran las preguntas de competencias con sus correspondientes consultas SPARQL

Preguntas de Competencia	Consulta SPARQL
¿Cuáles son los objetos de aprendizaje cuyo autor es Y?	SELECT ?originalLangTitle WHERE {dc:Sandobal dc:isCreatorOf ?originalLangTitle} Hacia Evaluacion
¿Cuál es el tipo según SNRD del objeto de aprendizaje X cuyo autor es Y?	SELECT ?snrd WHERE {dc:Sandobal dc:isCreatorOf dc:Evaluacion . dc:Evaluacion dc:hasTypeOfSnrd ?snrd} DocumentoConferencia

Tabla 2. Preguntas de Competencias y sus correspondientes consultas SPARQL

4 Conclusiones

El presente artículo presenta una ontología basada en el estándar DC considerando las directrices SNRD para la utilización en la descripción de LO que se encuentran en repositorios institucionales. El trabajo consistió en entender el significado de cada una de las etiquetas propuestas por el estándar DC y su adecuación en las directrices SNRD para proponer una ontología que responda a la misma. Al contar con la descripción específica de los metadatos, se recurrió a las preguntas de competencia para que sirvan de guía en la validación de la ontología obtenida. Así mismo, en el documento de especificación de requerimientos se planteó que la ontología dé soporte a: (i) la búsqueda de objetos digitales descriptos a través de metadatos en DC, (ii) guiar al usuario en la correcta introducción de los valores de las etiquetas de los objetos digitales.

A partir de las consideraciones antes mencionadas y las evaluaciones realizadas de las preguntas de competencias ejecutadas en SPARQL es posible afirmar que la ontología responde a los requerimientos especificados. La ontología obtenida se considera una aproximación hacia la construcción de ontologías para el uso de metadatos, que ayude a definir un mapeo ontológico entre estándares de metadatos. Este trabajo forma parte de un proyecto que tiene como objetivo la implementación de un repositorio institucional en UTN – FRSF que se encuentra en la fase de prototipo. Como trabajo futuro, se utilizará ésta ontología en el prototipo para su validación y verificación.

Referencias

[1]COAR: Confederation of Open Access Repositories. The Current State of Open Access Repository Interoperability. Working Group 2: Repository Interoperability. Octubre 2012.

[2]National information standards organization, “The Dublin core metadata element set”, ISSN 1041-5635, 2013

[3] IEEE Standard for Learning Object Metadata. (2002). Learning Technology Standards Comittee of the IEEE Computer Society. 1484.12.1-2002

[4] SNRD (2013). Directrices SNRD: Directrices para proveedores de contenido del Sistema Nacional de Repositorios Digitales Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

[5] IEEE. Learning Technology Standards Committee, 2002, p 45.

[6] García Aretio. “Objetos de Aprendizaje”. Bol. Elect. de Noticias de Educación a Distancia – Bened. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=bibliuned:329&dsID=editorialfebrero2005.pdf

[7] Studer R., Benjamins VR, Fensel D. Knowledge Engineering: Principles and Methods. IEEE Transaction and Data and Knowledge Engineering 25(1-2) :161-197. 1998

[8] Giraldo, Gloria; Marín Juan C.; Urrego Giraldo, Germán. Extracción de elementos de una ontología de dominio a partir de documentos esquema. Revistas Avances en Sistemas e Informática. Vol 6 Nº2, Septiembre 2009. Medellín. ISSN1657-7663

[9] Yahia, Nora; Moktar, Sahar; Wahab Ahmed, Abdel. Automatic Generation of OWL Ontology from XML Data Source.(2012). CoRR, abs/1026.0570

[10] Software & System Process Engineering Metamodel Specification (SPEM). Version 2.0 Object Managment Group, 2008. www.omg.org/spec/SPEM/2.0/

Uso de Ontologías para mapear una Arquitectura de Software con su Implementación

H. C. Vázquez[1,2], J. A. Díaz Pace[1,2], and C. Marcos[1,3]

[1] ISISTAN Research Institute. UNICEN University. Campus Universitario, Tandil (B7001BBO), Buenos Aires, Argentina. Tel.: +54 (249) 4439682.
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
[3] CIC, Committee for Scientific Research B1900AYB, La Plata, Argentina.

Resumen La arquitectura de software de un sistema es un activo importante para una organización que desarrolla software. Para maximizar los beneficios que provee una arquitectura, ésta debe estar en correspondencia con la implementación del sistema. En muchos proyectos existe cierta documentación de la arquitectura, pero sin embargo, la *información de mapeos* entre los elementos de dicha arquitectura y su implementación en código es escasa o inexistente. Este problema trae aparejadas dificultades de entendimiento de los elementos de código en relación a la arquitectura originalmente diseñada, lo que repercute negativamente sobre el aseguramiento de la calidad y los esfuerzos de mantenimiento del sistema. Si bien la provisión manual de estos mapeos es factible, es una tarea compleja y proclive a errores, particularmente a medida que la implementación del sistema evoluciona en el tiempo. En este contexto, las técnicas de alineación de ontologías se presentan como una alternativa para producir mapeos en forma automática. Por esta razón, el presente trabajo propone un enfoque automatizado y basado en ontologías para la generación de mapeos entre la arquitectura de un sistema y su implementación.

1. Introducción

La arquitectura de un sistema de software [3] se refiere a la organización de alto nivel del sistema, que comprende elementos de software, las propiedades externamente visibles de esos elementos, y las relaciones entre ellos. Una arquitectura de software [3] proporciona un modelo que hace explícitas las principales decisiones de diseño respecto a la satisfacción de atributos de calidad (por ej., performance, disponibilidad, modificabilidad, entre otros). A medida que un sistema evoluciona, comienzan a existir discrepancias entre la arquitectura "según se documentó" y su implementación "en código" [10]. La acumulación de cambios (típicamente, en la implementación) tiende a "erosionar" la arquitectura inicial. Este problema impacta negativamente sobre los esfuerzos de mantenimiento y el aseguramiento de la calidad del sistema.

Una práctica que permite mantener la arquitectura alineada (y consistente) con su implementación es la conformidad arquitectural [16]. Esta práctica se refiere a verificar periódicamente las relaciones entre los elementos arquitectónicos y sus contrapartes en la implementación, previniendo posibles violaciones de las reglas de arquitectura y reparando aquellas que puedan existir. En la actualidad, existen varias herramientas que ayudan al arquitecto a desarrollar con la conformidad arquitectural (por ej., Archium [9], ArchJava [1]). Para esto, el prerrequisito es contar con mapeos entre los elementos

de la arquitectura (por ej., componentes, responsabilidades, escenarios) y los elementos de la implementación (por ej., paquetes, clases, métodos). Es habitual encontrar descripciones de la arquitectura prevista del sistema, pero generalmente los mapeos entre dicha arquitectura y el código son escasos o inexistentes. Esto no permite capitalizar en los beneficios que provee la arquitectura. Si bien es factible que un arquitecto/desarrollador defina en forma manual los mapeos de la arquitectura a una versión dada del sistema, esta tarea suele ser compleja y requiere un análisis detallado de la implementación. Este problema se acentúa a medida que la implementación del sistema evoluciona en el tiempo.

En este contexto, un enfoque alternativo para producir mapeos en forma automática son las *técnicas de alineación de ontologías* [6]. Una ontología es una formulación explícita de un esquema conceptual, que permite la abstracción de entidades y sus relaciones dentro de una estructura determinada [8]. Si se considera la arquitectura de software como un representación conceptual del sistema, tanto la semántica de la arquitectura como el código correspondiente pueden ser utilizados para crear ontologías que representen sus conceptos y relaciones más importantes. En este trabajo se propone la utilización de dos ontologías, una para representar la arquitectura y otra para su implementación. Estas ontologías pueden ser luego alineadas de forma automática para establecer correspondencias entre sus entidades. Dichas correspondencias proveen los mapeos entre elementos de la arquitectura y su implementación.

El resto del trabajo se estructura de la siguiente manera. En la Sección 2 se presentan los aspectos más importantes del enfoque propuesto para la generación de mapeos. La Sección 3 discute algunos resultados de la evaluación del enfoque con casos de estudio. En la Sección 4, se analizan algunos trabajos relacionados. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones del trabajo y menciona trabajos futuros.

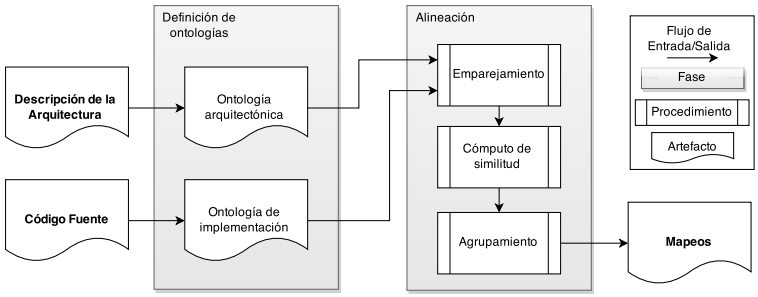


Figura 1: Un enfoque para establecer mapeos entre elementos de la arquitectura y su implementación.

2. Enfoque propuesto

La ausencia de mapeos entre la arquitectura de un sistema y su implementación dificulta: el entendimiento del código en relación a su diseño arquitectónico original, el mantenimiento evolutivo del sistema y la práctica de chequeo de conformidad arquitec-

tural. Por esta razón, en este trabajo se propone un enfoque para la generación automática de mapeos que permita identificar correspondencias entre elementos de la arquitectura y su implementación (Figura 1). A partir de una descripción de la arquitectura y del código fuente, se definen dos ontologías, denominadas "ontología arquitectónica" y "ontología de la implementación", respectivamente. Luego, estas dos ontologías son tomadas como entradas por el proceso de alineación, el cual tiene como objetivo encontrar las correspondencias entre ambas ontologías. Dicho proceso está compuesto por tres actividades: emparejamiento, cómputo de similitud y agrupamiento. En el emparejamiento, se generan todas las posibles parejas entre las entidades de las dos ontologías. A partir de este emparejamiento, se realiza el cómputo de similitud de cada pareja de entidades basándose en sus características. Luego del cómputo de similitud se realiza el agrupamiento de las parejas de entidades de acuerdo al grado de similitud presentado entre estas. Finalmente, se selecciona como resultado de la alineación el grupo que posee parejas de mayor similitud, las cuales se presentan como salida al usuario.

2.1. Definición de las ontologías

Una ontología es una especificación explícita de una conceptualización [8]. Algunas de las características más representativas de las ontologías que se adecuan a nuestro problema son: la capacidad de adaptarse a distintos niveles de abstracción, y la posibilidad de realizar correspondencias de ontologías estableciendo relaciones entre los elementos de una o más ontologías, para establecer conexiones, especializaciones, y generalizaciones, entre otras. En este trabajo, las ontologías son definidas a través del lenguaje OWL (*Ontology Web Lenguage* [14]). OWL tiene como objetivo proporcionar un lenguaje que puede ser utilizado para describir las clases y las relaciones entre ellas, que son inherentes a documentos y aplicaciones Web. Sin embargo, es un lenguaje que también puede ser utilizado para representar otros tipos de descripciones como, por ejemplo, la arquitectura de software y su implementación.

A continuación, se presentan las definiciones de la ontología arquitectónica y la ontología de la implementación. Notar que la generación de ambas ontologías se realiza en forma automática.

Ontología arquitectónica Existen diversas formas de representar la arquitectura de un sistema y la relación entre sus componentes, este trabajo se basa en una vista parcial de la arquitectura denominada *blueprint* [11]. El *blueprint* es una vista de los componentes de alto nivel de un sistema y de sus interfaces hacia otros componentes. Un componente en esta vista arquitectónica representa una porción de código que tiene asignadas responsabilidades (o *concerns*) del sistema. Estos componentes son vistos como "cajas negras" y su interacción con el resto del sistema se realiza solo mediante sus interfaces. Las interfaces pueden ser provistas o requeridas, determinando así una forma de dependencia entre los componentes.

La representación *blueprint* se traduce a una ontología utilizando el lenguaje OWL (Figura 2). Los componentes se representan como clases *OWL:Class*, la dependencia entre estos dada por las interfaces se traduce como propiedades *OWL:ObjectProperty*, y los *concerns* simplemente se traducen como *strings* utilizando *OWL:DatatypeProperty*. Por ejemplo, en la figura 2, los componentes 1 y 2 son traducidos a dos clases OWL homónimas, la "interface1to2" a una relación *ObjectProperty*, y los *concerns* a dos *strings.*

Ontología de la implementación La implementación de un sistema se lleva a cabo mediante la producción de código. Para poder realizar los mapeos, este trabajo se basa en código escrito en el lenguaje Java. El código Java se traduce a una ontología OWL (Figura 2). En esta traducción, las clases Java se representan como *OWL:Class*, las dependencias entre clases vía invocaciones a métodos se representan como propiedades de objetos *OWL:ObjectProperty*. Adicionalmente, también pueden informarse *concerns* de la misma forma que en la ontología anterior utilizando *OWL:DatatypeProperty*. Esto permite que un *concern* pueda ser asociado a una clase cuando exista información de trazabilidad. Por ejemplo, en la figura 2, las clases Java 1 y 2 son traducidas a dos clases OWL homónimas, la invocación a "method2" como una relación *ObjectProperty*, y en el caso de la clase 1, se informa el concern1 como *string*.

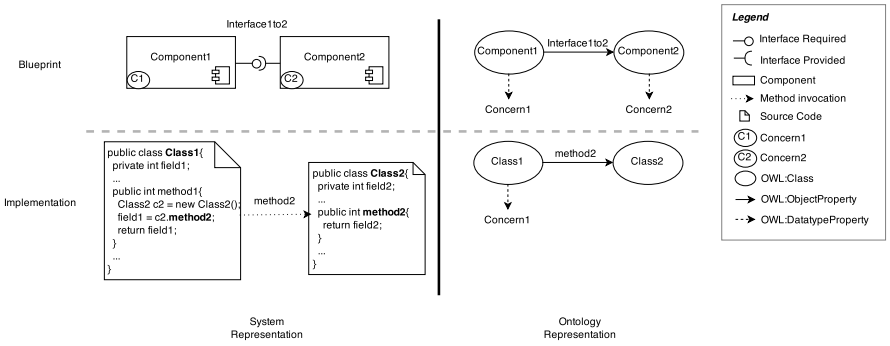


Figura 2: Definición de las ontologías a partir de la representación del sistema.

2.2. Alineación de las ontologías

A partir de las ontologías anteriores, es posible trazar una correspondencia entre los conceptos y relaciones de las mismas, lo que se conoce como *alineación de ontologías* [6]. La Figura3 muestra un pequeño ejemplo de arquitectura y su implementación. En la parte inferior se muestra la descripción (parcial) de un sistema dada por su *blueprint* y su implementación (vista como clases e invocaciones a métodos); y en la parte superior se muestra la representación ontológica de ambas.

Emparejamiento El emparejamiento de entidades de las ontologías se refiere al producto cartesiano entre los componentes (de la arquitectura) y las clases (de la implementación). Para el ejemplo de la Figura 3, el emparejamiento de entidades se observa en el Cuadro 1, donde los componentes GUI_Elements, Business_Rules y Data_Manager, son cruzados con las clases GUI_Adapter, BusinessManager, BusinessRule, BusinessDataManager y DataObject. Para problemas complejos (en términos de tamaño de las ontologías), por cuestiones de performance, podría pensarse en una forma de limitar los emparejamientos con información adicional, no obstante, ese problema no será abordado en este trabajo.

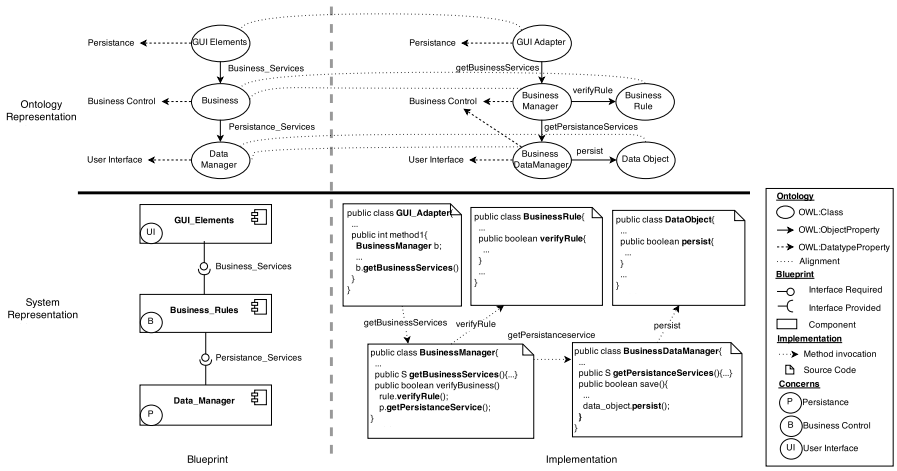


Figura 3: Ejemplo de generación de ontologías a partir de la representación del sistema.

Cómputo de similitud A cada par de entidades resultante de la fase anterior se le aplican funciones de similitud que lo evalúan de acuerdo a distintas propiedades. Este enfoque utiliza tres funciones de similitud (lingüística, de *concerns*, y estructural) para cubrir todos los aspectos en lo que dos entidades puedan ser comparadas. Cada función de similitud produce, para cada pareja de entidades, un valor entre 0 (baja similitud) y 1 (alta similitud) generando así una matriz de similitud.. El Cuadro 1 resume las tres matrices de similitud en una única matriz para los emparejamientos del ejemplo de la figura 3.

	GUI_Adapter			BusinessManager			BusinessRule			BusinessDataManager			DataObject		
	L	C	E	L	C	E	L	C	E	L	C	E	L	C	E
GUI_Elements	0.5	1,00	0.84	0.25	0,00	0.52	0.28	0,00	0,00	0.22	0,00	0,00	0.06	0,00	0,00
Business_Rules	0.0	0,00	0,00	0.63	1,00	1,00	1,00	1,00	0.38	0.6	0.66	0.49	0.23	0,00	0,00
Data_Manager	0.0	0,00	0,00	0.71	0,00	0,00	0.28	0,00	0.37	0.9	0.66	0.37	0.5	1,00	0.42

Cuadro 1: Similitud lingüística (L), de *concerns* (C) y estructural (E) para los elementos de la Figura 3.

Similitud Lingüística Se basa en la comparación de los nombres de las entidades de las ontologías. Los nombres son divididos en palabras de acuerdo a espacios, guiones, y divisiones de mayúsculas, entre otros criterios. Una vez divididas las palabras, se obtiene una oración que es utilizada como entrada de la función de similitud. En particular, para el cálculo de similitud lingüística se evaluó el uso de tres técnicas: Greedy [19], Optima [19] y el método Corley Mihelcea [4], empleando para ello el API de similitud semántica SEMILAR [20]. Por ejemplo, en el Cuadro 1, puede observarse en la columna L el valor de similitud lingüística entre las entidades usando el método Corley Mihelcea.

Similitud de Concerns Un *concern* de software es cualquier aspecto que impacte sobre la implementación de un sistema de software [22], generalmente impactando sobre varios artefactos de software. Ejemplos típicos de *concerns* pueden ser aspectos de persistencia, seguridad, o performance. En nuestra representación, los *concerns* que afectan ciertos elementos de la arquitectura, también pueden a afectar a los elementos de código que materializan dichos componentes. La ecuación 1 muestra el cálculo de similitud de *concerns* entre dos entidades E1 y E2, calculada como la suma de los *concerns* de E1 y E2, sobre la suma de los *concern* de E1 que se encuentran en E2 más la suma de los *concerns* de E2 que se encuentran en E1. Esta información es representada en la columna C del Cuadro 1.

$$Similitud(E1,E2) = \frac{\sum concerns_{E1} + \sum concerns_{E2}}{\sum concerns_{E1 en E2} + \sum concerns_{E2 en E1}} \quad (1)$$

Similitud Estructural Este tipo de similitud proviene de considerar las ontologías como grafos dirigidos para poder analizar su estructura y determinar la correspondencia entre sus nodos. En base a esta característica, se utiliza el algoritmo de matching de grafos Similarity Flooding (SFA) [15]. El SFA toma dos grafos como entrada y produce como salida un mapeo entre los nodos de ambos grafos. Cabe destacar que el SFA utiliza como entrada un mapeo inicial (o semilla), a fin de reducir su espacio de búsqueda. En este enfoque, para evitar la intervención del usuario, este mapeo inicial es resuelto utilizando las funciones de similitud lingüística y de *concerns*. Es decir, primeramente se buscan los mapeos para los cuales las funciones de similitud anteriores hayan producido un alto valor de similitud (muy cercano a 1), y se utilizan estos como semilla del SFA. Este proceso es descripto por el pseudocódigo 1. En la Cuadro 1, se puede observar en la columna E, el valor de similitud estructural usando el algoritmo SFA.

Algoritmo 1 Pseudocódigo del proceso de similitud estructural.

```
1. G1 = Graph(Ontology1);
2. G2 = Graph(Ontology2);
3. initialMap = maxSimilarityMappings(G1, G2);
4. similarityMatrix = SFA(G1, G2, initialMap);
```

Agrupamiento A partir de las matrices, se obtienen instancias de los pares de entidades y sus valores de similitud. Finalmente, estas instancias son agrupadas mediante la utilización de una técnica de *clustering* [18] con el fin de reunir los pares de entidades de acuerdo a la similitud de sus características. Particularmente, se utilizó la técnica de *clustering* K-Means [2]. K-Means tiene como objetivo la partición de un conjunto de n observaciones en k grupos, en el que cada observación pertenece al grupo más cercano a la media. Para este trabajo, el resultado de la alineación es el clúster con la media más cercana a 1, que es presentado en última instancia al usuario, como mapeos entre componentes y clases. En la Figura 3, la línea punteada entre las entidades expone la alineación final, por ejemplo entre el componente Data_Manager y las clases BusinessDataManager y DataObject

3. Evaluación

En el área de alineación de ontologías, se utilizan generalmente los criterios de *precision* y *recall* evaluar la performance del sistema de alineamiento [5]. Estas medidas son definidas por las ecuaciones siguientes:

$$Precision = \frac{(givenAlignment \cap correctAlignment)}{givenAlignment} \tag{2}$$

$$Recall = \frac{(givenAlignment \cap correctAlignment)}{correctAlignment} \tag{3}$$

Se denomina *precision* a la fracción de instancias recuperadas que son relevantes, mientras que *recall* es la fracción de instancias relevantes que han sido recuperadas. Además de estas dos medidas, se utilizó *F-Measure* como una medida armónica de *precision* y *recall*. Esta medida está definida por la siguiente ecuación:

$$F - Measure = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \tag{4}$$

F-measure es utilizada para evaluar qué tan lejos está la solución de la utilidad teórica, y también para observar qué tan balanceadas están las medidas de *precision* y *recall*.

Descripción	HWS	MM
Líneas de código (LOC)	8697	3015
Componentes	7	25
Interfaces	14	70
Clases	135	51
Métodos	1090	251

Cuadro 2: Descripción de los proyectos HWS y MM

Se utilizaron dos casos de estudio para validar el enfoque propuesto: i) el sistema Mobile Media (MM) [24] que es una SPL (Software Product Line) para aplicaciones móviles, y ii) el sistema Health Watcher (HWS) [13] que es un sistema para recoger y gestionar quejas y notificaciones relacionadas con la salud pública. Los mapeos de referencia para MM y HWS fueron provistos por expertos en forma manual, a fin de realizar comparaciones contra los mapeos obtenidos automáticamente mediante nuestro enfoque. En la Cuadro 2 se provee una descripción breve de ambos proyectos, tanto a nivel de arquitectura como de su implementación.

Se experimentó con el enfoque en los dos casos de estudio, y se realizaron pruebas variando el valor K (cantidad de clusters) y la técnica de similitud lingüística, obteniendo los resultados mostrados en la Cuadro 3. Estos resultados evidencian alrededor de K=20 un valor de *f-measure* superior al conseguido con otros K, lo que significa un mayor balance entre *precision* y *recall*. La técnica de similitud lingüística con la que el proceso de alineación arrojó resultados más precisos fue *Greedy*, con cerca del 95 % para K=20, mientras que el *recall* se mantuvo cerca del 50 %. Como era de esperar, para valores más altos de K=20 la medida *precision* aumenta, pero *recall* disminuye como puede observarse en la Figura 4. Esto se debe a que el aumento en el valor de K disminuye la cantidad promedio de instancias por cada clúster, lo que genera un *trade-*

	MM									HWS								
	CorleyMihalcea			Greedy			Optimum			CorleyMihalcea			Greedy			Optimum		
K	P	R	F	P	R	F	P	R	F	P	R	F	P	R	F	P	R	F
2	0,07	0,68	0,13	0,08	0,68	0,15	0,09	0,68	0,16	0,22	0,98	0,37	0,22	0,98	0,37	0,22	0,98	0,37
4	0,22	0,37	0,27	0,25	0,48	0,33	0,34	0,59	0,43	0,85	0,58	0,69	0,77	0,55	0,64	0,85	0,53	0,66
6	0,23	0,21	0,22	0,51	0,41	0,45	0,53	0,39	0,45	0,85	0,58	0,69	0,89	0,40	0,55	0,85	0,53	0,66
8	0,38	0,35	0,36	0,62	0,39	0,48	0,60	0,39	0,47	0,85	0,58	0,69	0,96	0,39	0,56	0,89	0,41	0,56
10	0,79	0,31	0,44	0,62	0,39	0,48	0,66	0,38	0,48	0,89	0,39	0,54	0,96	0,40	0,56	0,89	0,40	0,55
12	0,79	0,31	0,44	0,71	0,35	0,47	0,69	0,34	0,45	0,94	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56
14	0,41	0,34	0,37	0,69	0,35	0,47	0,74	0,32	0,45	0,94	0,39	0,55	0,96	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56
16	0,88	0,30	0,44	0,71	0,35	0,47	0,74	0,32	0,45	0,94	0,39	0,55	0,96	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56
18	0,88	0,30	0,44	0,73	0,34	0,46	0,73	0,34	0,46	0,94	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56
20	**0,88**	**0,30**	**0,44**	**0,95**	**0,30**	**0,45**	**0,88**	**0,31**	**0,46**	**0,94**	**0,40**	**0,56**	**0,96**	**0,40**	**0,56**	**0,96**	**0,40**	**0,56**
22	0,87	0,28	0,43	0,88	0,31	0,46	0,88	0,31	0,46	0,94	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56
24	0,91	0,28	0,43	0,95	0,28	0,43	0,88	0,30	0,44	0,94	0,40	0,56	0,96	0,40	0,56	1,00	0,38	0,55
26	0,86	0,27	0,41	0,95	0,28	0,43	0,88	0,31	0,46	1,00	0,17	0,29	0,96	0,39	0,56	1,00	0,38	0,55
28	0,92	0,17	0,29	0,95	0,28	0,43	0,88	0,31	0,46	1,00	0,17	0,29	0,96	0,39	0,56	1,00	0,38	0,55
30	0,92	0,17	0,29	0,95	0,28	0,43	0,88	0,30	0,44	1,00	0,17	0,29	0,96	0,39	0,56	1,00	0,38	0,55
32	0,90	0,27	0,41	0,95	0,28	0,43	0,88	0,30	0,44	1,00	0,17	0,29	0,96	0,39	0,56	1,00	0,38	0,55
34	0,92	0,17	0,29	0,93	0,18	0,31	0,88	0,31	0,46	1,00	0,17	0,29	1,00	0,38	0,55	1,00	0,38	0,55
36	0,92	0,17	0,29	0,93	0,18	0,31	0,88	0,31	0,46	1,00	0,17	0,29	1,00	0,38	0,55	1,00	0,38	0,55
38	0,92	0,17	0,29	0,95	0,25	0,40	0,95	0,27	0,42	1,00	0,17	0,29	1,00	0,38	0,55	1,00	0,38	0,55
40	0,92	0,17	0,29	0,95	0,27	0,42	0,95	0,25	0,40	1,00	0,17	0,29	1,00	0,38	0,55	1,00	0,38	0,55

Cuadro 3: Resultados de precision (P), recall (R) y f-measure (F) de la herramienta de alineación.

off entre *precision* y *recall*. Entre estas dos medidas se prioriza *precision*, dado que es más importante que los mapeos que se recuperen sean correctos, a que se recuperen muchos mapeos a costa de introducir incorrectos. Mapeos erróneos pueden dar lugar a razonamientos incorrectos sobre los análisis que puedan hacerse entre la arquitectura y su implementación. En la Figura 4 puede verse que los valores de *precision*, *recall y f-measure* tienden a estabilizarse más rápido en el proyecto MM que el HWS. Esto se debe a que la alineación depende exclusivamente de la correspondencia semántica entre las ontologías, y esta puede ser más evidente en algunos proyectos y más difusa otros.

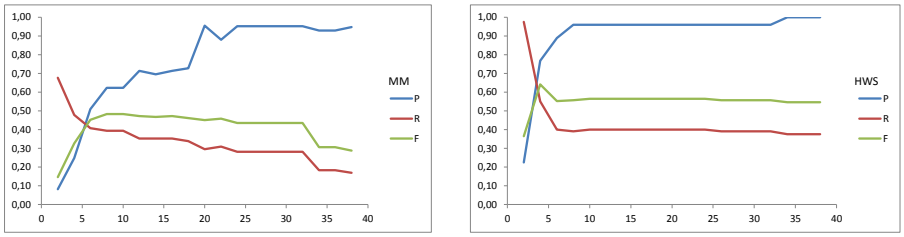


Figura 4: Gráfico de de *precision* (P), *recall* (R) y *f-measure* (F) para distintos valores de K (eje x) utilizando Greedy.

4. Trabajos relacionados

Obtener un nivel de comprensión adecuado de la arquitectura de un sistema de software es importante por muchas razones [10]. En los últimos años, varias investigaciones han explorado el uso de técnicas de Inteligencia Artificial para recuperar la arquitectura

de un sistema a partir de su código fuente. En [17], se analizaron técnicas de Machine Learning para condensar diagramas de clases en pos de obtener una representación de más alto nivel del diseño del sistema. Otros enfoques como [12] intentan recuperar la arquitectura del código fuente utilizando *clustering*. Un enfoque similar al anterior fue utilizado en [7], donde el interés está primero en la recuperación de *concerns* del sistema implementado, y luego junto a información estructural, se intenta identificar automáticamente componentes y conectores. Sin embargo, estos enfoques apuntan a recuperar la arquitectura desde la implementación en casos en los que no existe información acerca de la arquitectura original del sistema. Este trabajo se centra en la recuperación de mapeos entre una arquitectura dada y la implementación del sistema, considerando que dicha arquitectura se conoce de antemano (ya sea porque existe algo de documentación, o porque se ha consultado a un experto). Por otro lado, Jing Sung et al. [21] plantean una descripción ontológica de una arquitectura representada por componentes y conectores, y exponen algunas de las ventajas de las ontologías como representación alternativa a los lenguajes de descripción de arquitecturas (ADLs). A partir de eso, proponen un enfoque de diseño y verificación de modelos de arquitecturas de software usando tecnología de web semántica. Si bien en nuestro enfoque es posible aprovechar técnicas de razonamiento ontológico, el aporte del presente trabajo consiste en considerar la implementación del sistema como una ontología que se adecue a la ontología de la arquitectura, para luego obtener mapeos mediante la alineación de dichas ontologías.

5. Conclusiones

En este trabajo se presentó un enfoque para la generación automática de mapeos entre elementos de una descripción arquitectónica y elementos de la implementación, aprovechando técnicas existentes de alineación de ontologías. Una constribución novedosa del enfoque es la combinación de tres medidas de similitud (lingüística, de *concerns* y estructural). El enfoque fue evaluado en dos casos de estudio, obteniendo buenos resultados en cuanto a precisión aunque con un *recall* moderado. Por otra parte, se encontraron puntos a mejorar en el proceso de alineación. Uno de estos refiere a la función de similitud estructural, cuando existen diferencias de tamaño entre los grafos correspondientes al *blueprint* y a la implementación Java, ya que el algoritmo SFA no está preparado para alinear grafos de tamaños muy dispares. Por lo tanto es necesario, como un paso previo a la alineación, llevar ambas representaciones a un nivel de abstracción similar, o bien, experimentar con otros algoritmos. Otra posible mejora consiste en aportar más información estructural al proceso de alineamiento mediante la inclusión de una función de similitud basada en métricas de SNA (*Social Network Analisys*) [23].

Referencias

1. Aldrich, J., Chambers, C., Notkin, D.: Archjava: connecting software architecture to implementation. In: Software Engineering, 2002. ICSE 2002. Proceedings of the 24rd International Conference on. pp. 187–197. IEEE (2002)
2. Arthur, D., Vassilvitskii, S.: k-means++: The advantages of careful seeding. In: Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. pp. 1027–1035. Society for Industrial and Applied Mathematics (2007)
3. Bass, L., Clements, P., Kazman, R.: Software Architecture in Practice. Addison-Wesley Professional, 3rd edn. (2012)

4. Corley, C., Mihalcea, R.: Measuring the semantic similarity of texts. In: Proceedings of the ACL workshop on empirical modeling of semantic equivalence and entailment. pp. 13–18. Association for Computational Linguistics (2005)
5. Do, H.H., Rahm, E.: Matching large schemas: Approaches and evaluation. Information Systems 32(6), 857–885 (2007)
6. Euzenat, J., Shvaiko, P., et al.: Ontology matching, vol. 18. Springer (2007)
7. Garcia, J., Popescu, D., Mattmann, C., Medvidovic, N., Cai, Y.: Enhancing architectural recovery using concerns. In: Proceedings of the 2011 26th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering. pp. 552–555. IEEE Computer Society (2011)
8. Gruber, T.R.: A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge acquisition 5(2), 199–220 (1993)
9. Jansen, A., Bosch, J.: Software architecture as a set of architectural design decisions. In: Software Architecture, 2005. WICSA 2005. 5th Working IEEE/IFIP Conference on. pp. 109–120. IEEE (2005)
10. Kazman, R., Woods, S.G., Jeromy Carriere, S.: Requirements for integrating software architecture and reengineering models: Corum ii. In: Reverse Engineering, 1998. Proceedings. Fifth Working Conference on. pp. 154–163. IEEE (1998)
11. Kruchten, P.B.: The 4+ 1 view model of architecture. Software, IEEE 12(6), 42–50 (1995)
12. Maqbool, O., Babri, H.A.: Hierarchical clustering for software architecture recovery. Software Engineering, IEEE Transactions on 33(11), 759–780 (2007)
13. Massoni, T., Soares, S., Borba, P.: Requirements health-watcher version 2.0. Early Aspects, ICSE 7 (2007)
14. McGuinness, D.L., Van Harmelen, F., et al.: Owl web ontology language overview. W3C recommendation 10(10), 2004 (2004)
15. Melnik, S., Garcia-Molina, H., Rahm, E.: Similarity flooding: A versatile graph matching algorithm and its application to schema matching. In: Data Engineering, 2002. Proceedings. 18th International Conference on. pp. 117–128. IEEE (2002)
16. Moriconi, M., Qian, X., Riemenschneider, R.A.: Correct architecture refinement. Software Engineering, IEEE Transactions on 21(4), 356–372 (1995)
17. Osman, M.H., Chaudron, M.R., Van Der Putten, P.: An analysis of machine learning algorithms for condensing reverse engineered class diagrams. In: Software Maintenance (ICSM), 2013 29th IEEE International Conference on. pp. 140–149. IEEE (2013)
18. Rohlf, F.J.: NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate analysis system. Applied Biostatistics (1992)
19. Rus, V., Lintean, M.: A comparison of greedy and optimal assessment of natural language student input using word-to-word similarity metrics. In: Proceedings of the Seventh Workshop on Building Educational Applications Using NLP. pp. 157–162. Association for Computational Linguistics (2012)
20. Rus, V., Lintean, M.C., Banjade, R., Niraula, N.B., Stefanescu, D.: Semilar: The semantic similarity toolkit. In: ACL (Conference System Demonstrations). pp. 163–168. Citeseer (2013)
21. Sun, J., Wang, H.H., Hu, T.: Design software architecture models using ontology. In: SEKE. pp. 191–196 (2011)
22. Sutton Jr, S.M., Rouvellou, I.: Modeling of software concerns in cosmos. In: Proceedings of the 1st international conference on Aspect-oriented software development. pp. 127–133. ACM (2002)
23. Wasserman, S.: Social network analysis: Methods and applications, vol. 8. Cambridge university press (1994)
24. Young, T.J.: Using aspectj to build a software product line for mobile devices. Ph.D. thesis, The University of British Columbia (2005)

An Ontological Approach to Analyze the Data Required by a System Quality Scheme

María Julia Blas, Silvio Gonnet

INGAR, Instituto de Desarrollo y Diseño UTN-CONICET, Santa Fe, Argentina
{mariajuliablas,sgonnet}@santafe-conicet.gov.ar

Abstract. According to IEEE, software quality is the degree to which software possesses a desired combination of attributes. Quality attributes have been of interest to the software community since 1970 and in the past few years this interest has increase. However, still is not clear how product quality should apply in the development process. The need to know what quality characteristics influence a specific entity and which is the information required to cover its measurement is the objective of this work. This paper presents an ontology to document a quality scheme with a specification based on ISO/IEC 25010. This contribution includes rules and queries that help to determine the data required to carry out the measurement process.

Keywords: Ontology, quality scheme, software metrics, software product.

1 Introduction

The delimitation of what defines an adequate level of quality in a software system is a highly context dependent question [1]. This problem changes with the product and perspective of the stakeholders and, therefore, software product quality can easily become an area full of problems and conflicts as long each stakeholder group has its own perspective on what is important.

Everyone involved in the software engineering process is responsible for quality [2]. Achieving quality attributes must be considered throughout design, implementation, and deployment [3]. However, maintain the traceability of this attributes in the development process is very difficult. Frequently, the attributes get lost between different stages because there is no mechanism that supports the quality decisions made in the previous phases. Or worse, the development team does not know which attributes are related and how they impact in the overall quality of the software product (SP). In this context, software community needs a mechanism that not only provides the basic information related to quality but also leads to the correct definition of a quality scheme (QS). A QS can be defined as a set of triplets where each element is composed by one software attribute (that is, a part of a software entity that requires some specific quality property), one software metric (that should be used to measure the quality of the attribute) and one quality subcharacteristic (that should be evaluated over the attribute). The application of a QS over a SP can be done by

executing the measurement process over the specified artifact. However, before this application is necessary to collect all the required information. Given that this information may not be available is useful to analyze how a subset of data covers the required metrics. To this purpose, this paper presents an ontological approach that allows developers to document a QS and helps to analyze its coverage (taking into account the availability of the information). This proposal defines three basic elements: i) a quality scheme ontology (QSO) that establishes a way to define an adequate QS; ii) a set of SWRL (Semantic Web Rule Language) rules [4] and SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) queries [5] that allows developers to know the degree in which the available information covers the scheme; and iii) an interactive activity which indicates how to use the previous elements. The QSO proposed is based on three semantic models: software product quality semantic model, metric semantic model and software semantic model. Although a lot of authors have proposed ontologies for quality models and software metrics [6-8]. These ontologies are very detailed representation of a specific domain and their combination is a complex task. Furthermore, the existing quality model ontologies are outdated because the current normative [9] is relatively new. Therefore, none of these ontologies is valid in the actual context.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 describes the QSO that should be used to define a QS for a specific SP. Section 3 explains the set of rules and queries developed in order to derivate the coverage degree. Section 4 presents the activity defined to apply the ontological approach. Finally, Section 5 is devoted to the conclusions of the work.

2 Quality Scheme Ontology

The QSO developed is a domain ontology, since is applicable to a domain with a specific view point [10]. This ontology is based on the combination of three semantic models that represent specifics domains:

1. A *software product quality semantic model* that represents a product quality model.
2. A *metric semantic model* that represents concepts related to software metrics.
3. A *software semantic model* that represents the content of a software product.

A quality model is an essential component of a QS since is a model with the objective to describe, assess and/or predict quality [11]. Software quality models are a well-accepted means to support quality management of software systems. Furthermore, the use of metrics to develop strategies for improving the quality of the end product is a good practice [2]. A software metric is a measure of some property of a piece of software code or its specifications [12]. Software quality metrics are useful to register the current quality state of an end-product or process. To define a correct QS is necessary to specify which artifacts of the software product have to be evaluated.

The proposed QSO unifies the three individual domains in a single model. An attribute of a SP needs to be described by a quality subcharacteristic and has to be measured by a metric. In this sense, the three elements define one specification of the

set of triples included at QS. Therefore, for each quality subcharacteristic, the capability of a SP is determined by a set of internal attributes that can be measured.

Figure 1 shows the QSO. The gray nodes represent the concepts while the arrows refer to the relationships. The arrow head indicates the direction of the relationship and its label indicates the name. The empty arrows model "is-a" relationship, disjoint and complete. The relationships highlighted in yellow represent links between the different models. The boxes model the data properties of the concepts.

The upper part of Figure 1 shows the *Software Product Quality Semantic Model*. Many quality models have been proposed to support stakeholders in dealing with software quality. By novelty and completeness, the SP quality model presented in ISO/IEC 25010 [9] is the most rigorous and complete of all. For these reasons, this model has been taken as basis for this work.

The product quality model identifies the main characteristics of a SP in different levels of hierarchy. It is composed of eight characteristics which are further subdivided into subcharacteristics. A characteristic represents an external quality view while a subcharacteristic refers to properties that can be evaluated when the software is used as a part of a system. Each subcharacteristic is decomposed into a set of attributes. An attribute is an entity which can be verified or measured in the SP. A detail description of these concepts and relationships can be checked in [9].

In order to build this ontology, each characteristic and subcharacteristic identified in the quality model was transformed in a concept. The relationships between these concepts were modeled defining links between them. This definition took the form *is-decomposed-in*. For example, the characteristic *Functional Suitability* is related with the subcharacteristic *Functional Appropriateness* by the relationship called *is-decomposed-in-functional-appropriateness*. To group these concepts in different categories, the concepts *Characteristic* and *Subcharacteristic* were included. This classification was made linking the concepts by an *is-a* relationship. This relationship allows to modeling the taxonomy proposed in ISO/IEC 25010 [9]. The *Quality Model* concept was also included in the semantic model. The relationship of this concept with each characteristic was made by defining a new relationship that took the name *contains* (e.g. *contains-security*). The *includes* relationship helps to determine which characteristic are included in a *Quality Model* (since none of the characteristic is mandatory). Once the main concepts were defined, a set of properties was included in the model with the aim to refine the represented semantic. These properties include: *characteristic description*, *subcharacteristic description* and *source*.

To complete the definition of the ontology, a set of SWRL rules related with the *contains* relationship were specified. Equation 1 describes an example restriction that shows that all security characteristic decomposed in an integrity subcharacteristic must contain this subcharacteristic. Similar restrictions were added to the model to guarantee that all characteristics contain the appropriate set of subcharacteristics.

$$\text{Security}(?x) \wedge \text{isDecomposedInIntegrity}(?x,?y) \rightarrow \text{contains}(?x,?y) \quad (1)$$

The bottom part of Figure 1 shows the *Metric Semantic Model*. The metric ontology focuses in the traditional metric definition [2, 13, 14] and incorporates some concepts of the current normative [15, 16]. According to ISO 9126, a metric is

basically defined by the specification of its name, purpose, application method, measurement formula, interpretation, scale type, measure type, input to measurement and target audience. The identification of the metric is given by its name. For this reason, the metric name must be related with the information obtained when the metric is applied. The purpose of the metric is expressed as the question to be answered by the application of the metric. The metric application method provides an outline of application while the measurement formula stipulates the mathematical expression used for the calculation and explains the meanings of the used data elements. The interpretation of the measured value supplies the range and preferred values. The scale type defines the dimension of the metric. Scale types used are: nominal scale, ordinal scale, interval scale, ratio scale and absolute scale. The measure type involves the specification of the way in which the metric is obtained. Types used are: size, time and count type. The input to the measurement process refers to the source of data used in the measurement. Finally, the target audience identifies the users of the measurement results.

Although all this concepts define a metric, only a set of them was used as part of the metric ontology. The selection was made taking into account the final objective: document the metrics related with different quality attributes that should be used to evaluate a specific SP. In order to do this, the input to measurement and the target audience are not represented in the model. To define a QS, the specific source of information for a metric is not important since the measurement process is not executed. The target audience is also a concept that shows a dependency with the use of the metric and, therefore, is excluded of the model. The rest of the concepts were taken to compose the semantic model. Furthermore, in order to improve and complete the ontology some properties were refined. The first refinement was the incorporation of the concepts *Direct Metric* and *Indirect Metric*. A *Direct Metric* is an atomic metrics and an *Indirect Metric* is defined in term of another metrics. To define a metric three complementary changes were made: the addition of the hierarchies *Unit* and *Scale* and the incorporation of the *Equation* concept. The *Unit* hierarchy was designed using as reference the proposal of Rijgersberg [17] while the *Scale* hierarchy was modeled using the approach described by Olsina [8]. In order to include an approach that allow to describing how a metric should be calculated, the *Equation* concept was added to the model. This concept represents a mathematical formula composed of mathematical terms, operators and variables.

The derivation of knowledge that refers to specific types of operations, units and range delimitations is made by mean of SWRL rules. Equation 2 shows as example that a unit must be assigned into a metric only if its scale is numerical, then the unit will be the one specified in the scale.

$$\text{Metric}(?m) \wedge \text{NumericalScale}(?s) \wedge \text{isDimensionedIn}(?m,?s) \wedge \text{isMeasuredIn}(?s,?u) \wedge \text{Unit}(?u) \rightarrow \text{hasAsUnit}(?m,?u) \quad (2)$$

The middle part of Figure 1 shows the *Software Semantic Model*. Its purpose is to model the domain of SPs. A SP is a set of computer programs, procedures, and possibly associated documentation and data, designed for delivery to a specific user. It always includes the development of one or more computer programs.

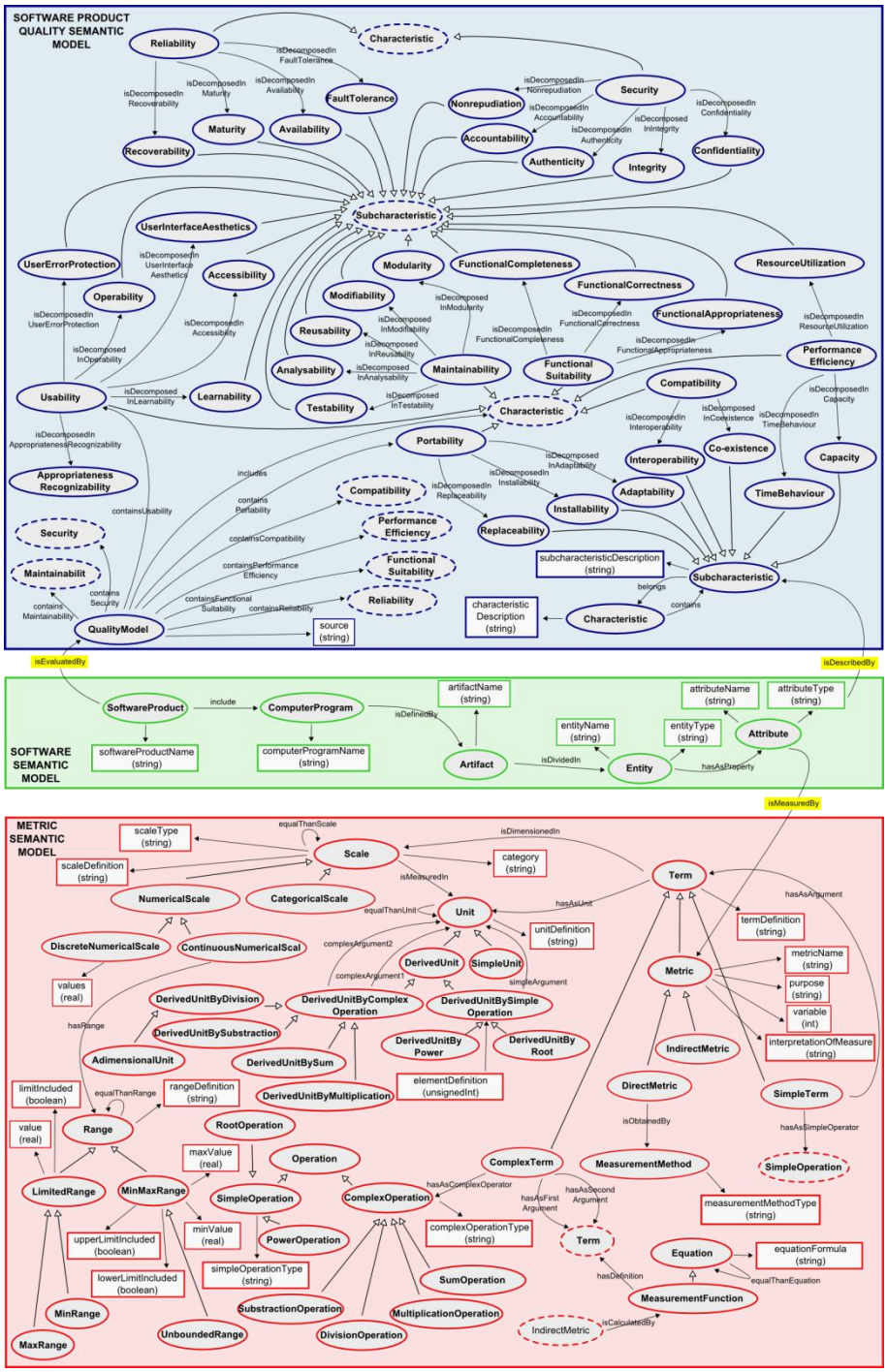


Fig. 1. Quality Scheme Ontology.

The development process carried out for the construction of each computer program usually involves the creation of different artifacts. An artifact is a product produced during the development of software that contains information of some part of it. All artifacts can be divided in a set of entities. An entity is an object that can be characterized by measuring its attributes. Therefore, an attribute is a measurable physical or abstract property of an entity.

The semantic model developed is based on this description which is adapted from [2,15,16,18]. Each of the main concepts identified in the domain was transformed into an ontology concept. The links between the concepts were modeled as relationships. The name of these relationships describes the way in which the concepts are related (e.g. *is-divided-in*). To allow a correct identification of the instances derived from a concept, the model includes some attributes labeled as *name* and *type*.

The designed ontologies and the proposed SWRL rules were implemented using Protégé (http://protege.stanford.edu/). Each ontology was implemented in an individual OWL (Web Ontology Language) file in order to increase the possibility of reuse it in other contexts. The elements were specified in English and Spanish to allow multiple language support. The OWL files were imported in a new document with aim to model the final ontology. This new model incorporates the specification of the relationships that link the three semantic models.

Given that it is difficult to quantify the quality of ontologies due to the absence of formal evaluation methods, an analysis of the structural dimensions was applied over the final ontology. Table 1 describes the set of selected metrics and its results.

Table 1. Metrics applied to the Quality Scheme Ontology.

Abbrev.	*Description*	*Definition*	*Value*
P	Number of non-inheritance relationships.	-	68
H	Number of inheritance relationships.	-	72
NOC	Number of classes.	-	87
NOR	Number of relations.	-	140
NORC	Number of root classes.	-	15
NOLC	Number of leaf classes.	-	72
NAT	Number of attributes for all classes.	-	32
RR	Relationship richness.	P / (H+P)	0.485
IR	Inheritance richness.	H / NOC	0.827
DOSH	Depth of subsumption hierarchy.	-	5
AR	Attribute richness.	NAT/NOC	0.367

The final ontology has an IR of 0.827 which together with the DOSH value (5) indicate that the proposed ontology is of a vertical nature. This means that represents knowledge of a specific domain, allowing to instantiate schemes that fit to the quality specification. Furthermore, the AR value (0.367 attributes per concept) shows that the attributes allow to restricting the domain. The RR is very close to the average (48.5%) which implies that the number of hierarchical relationships is a bit greater than the number of the other kind of associations. In this sense, the ontology maintains an adequate balance between inheritance relations and associations.

3 Analysis of the Required and Available Information

3.1 SWRL Rules Applied to the Derivation of Knowledge

In order to analyze a software QS, a set of SWRL rules was specified (Table 2). The SWRL is a language that is used to express rules in the form of an implication between an antecedent (body) and consequent (head) [4] and, therefore, allows to derivate new knowledge from the instances of a model.

Since all direct metric refers to a measure or is used as component in an indirect metric, the first rule specifies that a *Direct Metric* implies a need of information (*Required Data*). However, if a required data is available it establishes an *Available Data* (rule 2). In this sense, if a *Direct Metric* is also an *Available Data* (that is, the information exists when the measurement process take place) then the metric is a mathematical term than can be calculated (*Calculable Term*). This fact is expressed in rule 3. But, the fact that a mathematical term can be calculated it may involve that other mathematical terms can be calculated. To this purpose, rules 4 and 5 are defined. In rule 4, if a *Simple Term* has as argument a mathematical term that is calculable then it is a *Calculable Term*. The same happens with *Complex Terms* (rule 5). Then, if the mathematical term that resumes the *Measurement Function* associated with an *Indirect Metric* is calculable, the metric is itself a *Calculable Term* (rule 6). Finally, rule 7 specifies that if a *Metric* is a *Calculable Term*, then it is a *Calculable Metric*. This rule allows to determinate if a metric (independently of its type) can be calculated with the available data.

Table 2. SWRL rules.

Id.	*SWRL Rule*
1	DirectMetric(?x) → RequiredData(?x)
2	RequiredData(?x) ^ available(?x, true) → AvailableData(?x)
3	DirectMetric(?x) ^ AvailableData(?x) → CalculableTerm(?x)
4	SimpleTerm(?s) ^ CalculableTerm(?a) ^ hasAsArgument(?s, ?a) → CalculableTerm(?s)
5	ComplexTerm(?c) ^ CalculableTerm(?a1) ^ CalculableTerm(?a2) ^ hasAsFirstArgument(?c, ?a1) ^ hasAsSecondArgument(?c, ?a2) → CalculableTerm(?c)
6	IndirectMetric(?m) ^ MeasurementFunction(?f) ^ CalculableTerm(?t) ^ hasDefinition(?f, ?t) ^ isCalculatedBy(?m, ?f) → CalculableTerm(?m)
7	Metric(?m) ^ CalculableTerm(?m) → CalculableMetric(?m)

3.2 SPARQL Queries

A QS is defined for a specific SP. However, the quality is measured using the attributes of the entities of the different artifacts of the software product. Therefore, the coverage analysis of a QS over a set of available information must be done at artifact level and the results must be detailed at entity level. To this purpose, the coverage analysis is done at entity level. These results are combined in order to obtain a value at artifact level.

100% coverage in a quality entity exists if all the metrics related to the entity are calculable. That is, if is available all the information required to calculate the metrics related with the attributes of an entity E in reference to a quality characteristic/subcharacteristic Q. However, a full coverage requires of the availability of all the information and, usually, the data recompilation is not a complete activity. Some data may be difficult to obtain or may not exist in early stages of the development process, but still the available data can lead to an acceptable coverage level of the quality scheme proposed. In these cases, the coverage will be less than 100%. Equation 3 shows how calculate the coverage level of an entity E for a quality characteristic/subcharacteristic Q.

(# Calculable metrics of E for Q / # Metrics of E for Q) x 100 (3)

In order to obtain the coverage level for two variables E (entity) and Q (subcharacteristic), a SPARQL query was specified and implemented in Protégé (Figure 2). SPARQL is a semantic query language for databases, able to retrieve and manipulate data stored in Resource Description Framework format. A SPARQL query contains three main clauses: SELECT, WHERE and FILTER. In the proposed query, the SELECT clause specifies Equation 3 by calculating the relation between the quantity of calculable metrics and the overall metrics. The individuals to be counted in both cases are obtained from the WHERE clause in combination with the FILTER clause. While the WHERE clause searches all the metrics and calculable metrics related to an entity E and a quality property Q, the FILTER clause specifies the values for E and Q. A similar query was designed to link an entity E with a characteristic Q.

The developed query helps to analyze at entity level and, therefore, can be used as base for the analysis at artifact level. To summarize the artifact level analysis another SPARQL query was specified. This query helps to estimate the coverage of a quality property Q (characteristic or subcharacteristic) over an artifact A. For space reasons the query is not presented in this work.

```
SELECT ((COUNT(DISTINCT ?calculablemetricindividual)/(COUNT(DISTINCT ?metricindividual))*100) AS ?coverage)
WHERE
{       ?entity rdf:type sw:Entity . ?entity sw:entityName ?E . ?entity sw:hasAsProperty ?calculableattribute .
        ?calculableattribute rdf:type sw:Attribute . ?calculableattribute sw:isMeasuredBy ?calculablemetricindividual .
        ?calculablemetricindividual rdf:type sw:CalculableMetric . ?entity sw:hasAsProperty ?attribute .
        ?attribute rdf:type sw:Attribute . ?attribute sw:isMeasuredBy ?metricindividual .
        ?metricindividual rdf:type m:Metric . ?calculableattribute sw:isDescribedBy ?subcharacteristic .
        ?attribute sw:isDescribedBy ?subcharacteristic . ?subcharacteristic rdf:type ?Q .
        FILTER(?E = "E_Value" && regex(str(?Q),"Q_Value"))      }
```

Fig. 2. SPARQL query.

4 Activity: Analysis of the Quality Scheme Coverage

An activity was defined to combine an instantiation of the QSO (that is, a QS) with the coverage queries. After a QS has been created (at any moment of the development process) the coverage can be analyzed. The decision of when execute the coverage analysis depends on the need of analyze the quality of a SP according to the QS specification. The coverage analysis provides a mechanism that helps to know how the available data are useful to estimate several measures.

Given that the coverage analysis is made using the available information, this process can be executed several times using different sets of available data. For example, the data can be obtained (at different times) from an execution process used over the existing components or from outcomes of a simulation run. Whatever be the source of data, the availability of the information is the one that allows estimate the quantity of metrics of the QS that can be derived. To obtain these results, the member of the development team that wants to analyze the coverage (*User*) must follow the activity described in Figure 3. When the process starts, *User* wants to know which the required data is and, in response, the set of SWRL rules (explained in the section 3.1) should be executed over the *Ontology*. After that, *User* must indicate which of the required data (obtained as result of the previous activity) is available. Then, *User* must indicate that wants to find the calculable metrics based on the existing information. In response, the SWRL rules should be executed (again) over the *Ontology*. Once the calculable metrics are obtained, *User* must define which artifact (A) and which quality characteristic (Q) wants to analyze, and then, must indicate that wants to find the coverage level for both elements. Finally, the SPARQL query should be executed over the *Ontology* (with A and Q as arguments). The three final activities can be repeated for multiple pairs (A,Q) once the calculable metrics are obtained.

By following this activity, any user can use the proposed ontology and its complements to analyze how impact the available data in the quality of a SP.

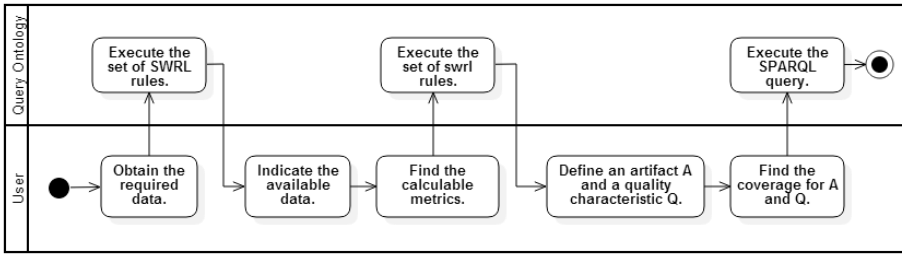


Fig. 3. Activity to follow to analyze the coverage of a quality scheme.

5 Conclusions and Future Work

The quality of a software system is directly related to the ability of the system to satisfy its functional, nonfunctional, implied, and specified requirements. In this paper, an ontology to document quality schemes is proposed. The ontology is complemented with a set of SWRL rules and SPARQL queries that allow developers to analyze how a set of available data can be used to calculate the required metrics. Also, an activity is defined to show how to use the ontology and the other elements.

The implementation of a tool that automates the elaboration of the quality schemes and the analysis of its coverage is the next step in this direction. The ontology and the set of rules and queries designed can be taken as base of this tool, using an ontology-based approach. The main purpose of this tool should be the creation, storage, modification and query of the quality schemes along with the possibility of analyze

the coverage for all quality characteristics. With this technological support, the development team could easily understand the quality aspects related with a specific software artifact and see how impact the available data in the measurement of quality.

The QSO can be adapted to other types of quality models since the software product quality semantic model is an independent ontology. Although in this work the view is centered in the internal quality attributes of a SP, the semantic model can be replaced with a model that refers to quality in use. Also, it can be replaced with quality models developed by other authors. The same changes are applicable to the software ontology. Given that the semantic model is independent, the proposed approach allows refining the model to represent a more detailed description of a SP. The improvement of this model is the main objective of the future work to be made.

References

1. Kitchenham, B., Pfleeger, S.: Software Quality: The Elusive Target. IEEE Softw. 13(1996).
2. Pressman, R.: Software Engineering: A Practitioner´s Approach. McGraw-Hill (2010).
3. Bass, L., Clements, P., Kazman, R.: Software Architecture in Practice. Addison-Wesley Professional (2003).
4. SWRL: A Semantic Web Rule Language, http://www.w3.org/Submission/SWRL/ (2004).
5. SPARQL 1.1 Query Language, http://www.w3.org/TR/sparql11-query/ (2013).
6. Pardo, C., Pino, F., García, F., Piattini, M., Baldassarre, M.: An ontology for the harmonization of multiple standards and models, Computer Standards & Interfaces, 34, 1, pp. 48–59 (2012).
7. Dominguez-Mayo, F., Escalona, M., Mejías, M. Ross, M., Stapes, G.: A quality management based on the Quality Model life cycle, Computer Standards & Interfaces, 34, 4, pp. 396–412 (2012).
8. Olsina, L., Martín, M.: Ontology for Software Metrics and Indicators. J Web Eng. 2, 262–281 (2003).
9. ISO/IEC 25010:2011 - System and software quality models, (2011).
10. Roussey, C., Pinet, F., Kang, M., Corcho, O.: An Introduction to Ontologies and Ontology Engineering, Ontologies in Urban Development Projects, Advanced Information and Knowledge Processing, 1, pp. 9-38 (2011).
11. Deissenboeck, F., Juergens, E., Lochmann, K.: Software quality models: Purposes, usage scenarios and requirements, ICSE Workshop on Software Quality ’09. pp. 9–14 (2009).
12. El-Haik, B.S., Shaout, A.: Software Design for Six Sigma: A Roadmap for Excellence. John Wiley & Sons (2010).
13. Fenton, N., Bieman, J.: Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach, Third Edition. CRC Press, Boca Raton (2014).
14. Kan, S.H.: Metrics and Models in Software Quality Engineering. Addison-Wesley Professional (2003).
15. ISO/IEC TR 9126-2:2003 - Software Product quality - Part 2: External metrics, (2003).
16. ISO/IEC TR 9126-3:2003 - Software Product quality - Part 3: Internal metrics, (2003).
17. Rijgersberg, H., Wigham, M., Top, J.L.: How semantics can improve engineering processes: A case of units of measure and quantities. Adv. Eng. Inform. 25, 276–287 (2011).
18. ISO/IEC 12207:2008 - Systems & software engineering - Software life cycle processes (2008).

Extending the Conceptual Base for a Holistic Quality Evaluation Approach

Belen Rivera, Pablo Becker and Luis Olsina

GIDIS_Web, Engineering School at Universidad Nacional de La Pampa, Argentina
belenrs@yahoo.com, [beckerp, olsinal]@ing.unlpam.edu.ar

Abstract. For software organizations often performing measurement, evaluation (ME), and even change/improvement (MEC) projects, a well-established quality evaluation approach can be useful. In this direction, we have developed a *holistic quality evaluation approach* whose architecture is based on two pillars, namely: *a quality multi-view modeling framework*, and *ME/MEC integrated strategies*. In this paper, we specify the conceptual base for the former pillar. Specifically, we specify an ontology of quality views documenting its main terms, properties and relationships. Quality views are paramount for selecting evaluation strategies and strategy patterns to be assigned as resources to ME/MEC projects. Also, we show how this ontology is semantically linked with the previously built ME domain ontology.

Keywords: Ontology, Quality Views, Evaluation Strategies.

1 Introduction

For those software organizations that frequently perform quality assurance activities devoted to measurement, evaluation, and change/improvement projects, a well-founded quality evaluation approach can be useful. In this direction, we consider that counting with a *holistic quality evaluation approach* can help software organizations to reach the planning and performing of measurement, evaluation and change project goals in a systematic and disciplined way. So, clear ME/MEC project goals should be established, e.g. 'understand the usability of the XYZ mobile application'. In order to achieve this goal, a strategy with well-established activities and methods for performing ME actions should be selected. For choosing the suitable strategy from a set of strategies, the target quality view must be taken into account. A *quality view* relates accordingly an entity super-category, e.g., product, system, system in use, with a quality focus such as internal quality (IQ), external quality (EQ), and quality in use (QinU). To fulfill the project goal for the given example, the underlying quality view is the System Quality View, where System is the entity super-category to be evaluated regarding the EQ focus and the Usability characteristic.

In the last years, we have developed a *holistic quality evaluation approach* [11] whose architecture is based on two pillars, namely: (1) *a quality multi-view modeling framework*; and, (2) *ME/MEC integrated strategies*. In turn, an integrated strategy

embraces the next three capabilities [2]: (i) the *ME/MEC domain conceptual base and framework*; (ii) the *process perspective specifications*; and, (iii) the *method specifications.* These three capabilities support the principle of being integrated, i.e., the same terms are consistently used in the involved activities and methods. Looking at the first capability, we have built the C-INCAMI (*Contextual-Information Need, Concept Model, Attribute, Metric and Indicator*) [12] conceptual base which explicitly and formally specifies de ME concepts, properties, relationships and constraints, in addition to their grouping into components. This domain ontology for ME was enriched with terms of the recently built process generic ontology [2]. For example, a 'measurement' -from the ME domain ontology- has the semantic of 'task' -from the process generic ontology. Likewise, the 'metric' term has the semantic of 'method'; the 'measure' has the semantic of 'outcome', and so forth. In light of having a more complete conceptual base for our *holistic quality evaluation approach*, we sought the opportunity of developing an ontology for the *quality multi-view modeling framework*, i.e., the abovementioned first pillar of our approach. Quality views are now not only formally specified in an ontology but their main terms are also linked with the C-INCAMI's non-functional requirements component.

Thus, the major contributions of this work are: (i) *Specify an ontology of quality views*; (ii) *Relate the quality view terms with the ME ontology terms*; and (iii) *Discuss its applicability* for selecting strategy patterns in ME/MEC projects.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 specifies the ontology of quality views, which extends the conceptual base of our *holistic quality evaluation approach*. Section 3 stresses the practical impact of the quality multi-view framework when selecting strategy patterns for specific project goals. Section 4 describes related work and, finally, Section 5 outlines conclusions and future work.

2 Ontology of Quality Views

As commented previously, the architecture of our *holistic quality evaluation approach* is built on two pillars: *a quality multi-view modeling framework* and *ME/MEC integrated strategies*. Next, we describe the *quality multi-view modeling framework* pillar considering the proposed ontology for the domain of quality views.

The ISO 25010 standard [7] deals with quality views and quality models. It establishes 'influences' and 'depends on' relationships between quality views. However, the explicit meaning of the quality view concept is missing. Rather, it outlines quality views in the context of a system quality lifecycle model, where each view can be evaluated by means of a suitable quality model that the standard proposes. To improve this weakness, we define an ontology of quality views.

It is worthy to remark that an ontology is a way for structuring a conceptual base by specifying its terms, properties, relationships, and axioms or constraints. A well-known definition of ontology says that "*an ontology is an explicit specification of a conceptualization*" [6]. On the other hand, van Heijst *et al*. [15] distinguish different types of ontologies regarding the subject of the conceptualization, e.g., *domain ontologies*, which express conceptualizations that are intended for particular

domains; and *generic ontologies*, which include concepts that are considered to be generic across many domains.

Regarding the above classification, our proposed ontology can be considered rather a domain ontology since its terms, properties and relationships are specific to the quality area. However, some terms like entity super-category can be considered generics. Fig. 1 depicts the quality views ontology using the UML class diagram [13] for representation and communication purposes. Additionally, its terms and relationships are defined in Table 1 and 2 respectively.

One core term in this ontology is *Calculable-Concept View*. This term relates the *Entity Super-Category* term with the *Calculable-Concept Focus* term. An *Entity Super-Category* is the highest abstraction level of an *Entity Category* to be characterized for measurement and evaluation purposes. On the other hand, a *Calculable-Concept Focus* is a *Calculable Concept* that represents the root of a *Calculable-Concept Model*, e.g., a quality model such as the EQ or QinU models prescribed in [7].

Fig. 1 shows that instances of *Entity Super-Category* are *Software Product*, *System*, *Process*, amongst others. On the other hand, a *Calculable-Concept Focus* for the quality domain is named *Quality Focus.* Considering other domains like the cost area, Cost Focus is other type of *Calculable-Concept Focus*. Some instances of *Quality Focus* are for example *Internal Quality*, *External Quality* and *Quality in Use*. In Table 1 we define *Internal Quality* as "*the quality focus associated to the software product entity super-category to be evaluated*", *External Quality* is defined as "*the quality focus associated to the system entity super-category to be evaluated*", and *Quality in Use* as "*the quality focus associated to the system-in-use entity super-category to be evaluated*".

The relation between an instance of a *Quality Focus* and its associated instance of an *Entity Super-Category* derives in a key concept of the ontology, viz.: *Quality View*. A *Quality View* is a *Calculable-Concept View* for quality. Instances of the *Quality View* term are *Software Product Quality View*, *System Quality View*, *System-in-Use Quality View*, *Resource Quality View* and *Process Quality View*, being all of them represented in Fig. 1. (Note that another instance is for example the *Service Quality View* which is not shown in Fig. 1).

Fig. 2 shows the *influences* and *depends on* relationships between instances of quality views which are commonly present in development, evaluation and maintenance projects. E.g., the *Resource Quality View* influences the *Process Quality View*. That is, if a development team uses a new tool or method – both considered as entities of the *Resource Entity Super-Category*- this fact impacts directly in the quality of the development process they are carrying out. In turn, the *Process Quality View* influences the *Software Product Quality View*. The *Product Quality View* influences the *System Quality*, and in turn this influences the *System-in-Use Quality View*. The *depends on* relationship has the opposite semantic. Note that more quality views than those depicted in Fig. 2 can be derived from Fig. 1. E.g., the *Process Quality View* that *influences* the *Service Quality View* could be represented. In Section 3, we discuss the utility of having well-defined quality views and relationships.

Table 1. Ontology for the domain of quality views: Term definitions.

Term	Definition
Calculable Concept (synonym: Characteristic, Dimension, Factor, Feature) (from ME ontology)	Abstract relationship between attributes of entity categories and information needs. Note 1: A *Calculable Concept*, usually called characteristic, represents a combination of measurable attributes. Therefore a characteristic can be evaluated but cannot be measured as an attribute. Note 2: A characteristic can have sub-characteristics.
Calculable-Concept Focus	Highest abstraction level of a root *calculable concept* associated to one *entity super-category* to be evaluated.
Calculable-Concept Model (from ME ontology)	The set of *calculable concepts* and the relationships between them, which provide the basis for specifying the root calculable-concept requirements and their further evaluation. Note 1: A possible instance of a *Calculable-Concept Model* is the ISO 25010 Quality-in-use Model.
Calculable-Concept View	Relationship of highest abstraction level between one *calculable-concept focus* and one *entity super-category*. Note 1: Names of *calculable-concept views* are Quality View, Cost View, among others.
Entity Category (synonym: Object Category) (from ME ontology)	Object category that is to be characterized by measuring its attributes.
Entity Super-Category	Highest abstraction level of an entity category of value to be characterized and assessed in Software Engineering organizations. Note 1: Names of entity super-categories are *Resource*, *Process*, *Software Product*, *System*, *System in use*, among others.
External Quality	It is the *quality focus* associated to the *system* entity super-category to be evaluated.
Internal Quality	It is the *quality focus* associated to the *software product* entity super-category to be evaluated.
Process	It is the *entity super-category* which embraces work definitions.
Process Quality	It is the *quality focus* associated to the *process* entity super-category to be evaluated.
Process Quality View	It is the *quality view* that relates the *process quality* focus with the *process* entity super-category.
Quality Focus	It is a *calculable-concept focus* for quality.
Quality in Use	It is the *quality focus* associated to the *system-in-use* entity super-category to be evaluated.
Quality View	It is a *calculable-concept view* for quality.
Resource	It is the *entity super-category* which embraces assets that can be assigned to processes, activities and tasks. Note 1: Examples of assets are Tool, Strategy, Software team, etc.
Resource Quality	It is the *quality focus* associated to the *resource* entity super-

	category to be evaluated.
Resource Quality View	It is the *quality view* that relates the *resource quality* focus with the *resource* entity super-category.
Software Product	It is the *entity super-category* which embraces software programs (i.e., source codes), specifications (i.e., requirements specifications, architectural specifications, data specifications, testing specifications, etc.), and other associated documentation.
Software Product Quality View	It is the *quality view* that relates the *internal quality* focus with the *software product* entity super-category.
System	It is the *entity super-category* which embraces software programs (i.e., applications) running in a computer environment, but not necessarily in the final environment of execution and usage.
System in Use	It is the *entity super-category* which embraces operative software applications used by real users in real contexts of use.
System-in-Use Quality View	It is the *quality view* that relates the *quality in use* focus with the *system-in-use* entity super-category.
System Quality View	It is the *quality view* that relates the *external quality* focus with the *system* entity super-category.

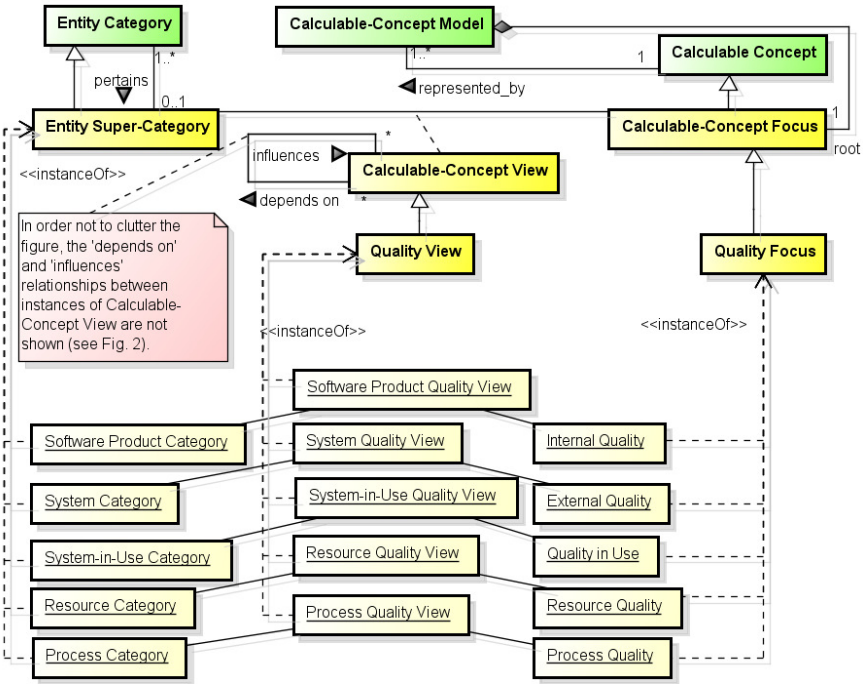


Fig. 1. Ontology for the Quality Views domain.

Table 2. Ontology for the domain of quality views: Relationship definitions.

Relationship	Definition
depends on	A *calculable-concept view* depends on other c*alculable-concept view.*
influences	A *calculable-concept view* influences other *calculable-concept view.*
pertains	An *entity categ*ory can be classified into an *entity super-category*.
represented_by	A *calculable-concept view* can be represented by one or several *calculable concept models*.

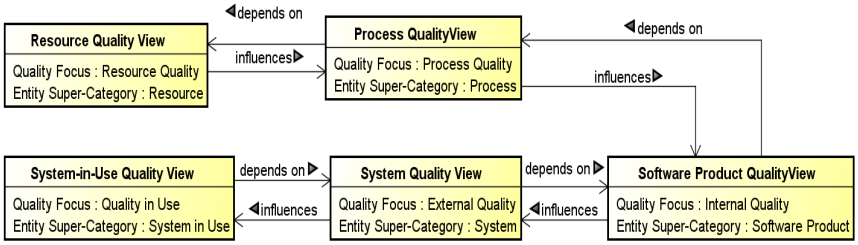


Fig. 2. An instantiation of typical quality views.

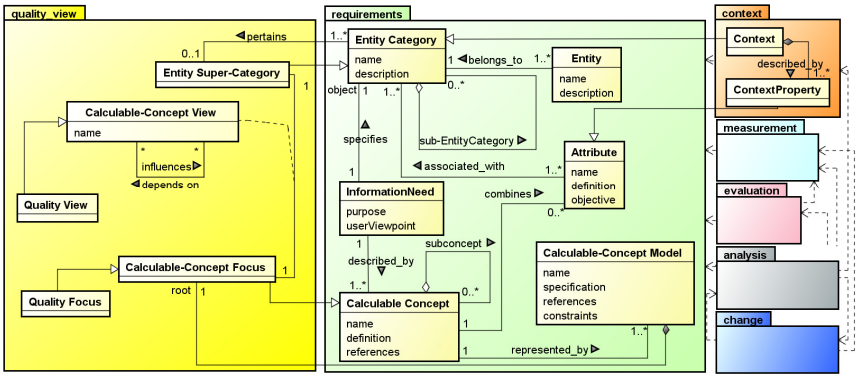


Fig. 3. The *quality_view* component which extends the C-INCAMI conceptual framework. Note that many C-INCAMI components are drawn without terms for space reasons.

The quality views ontology shares some terms with the previously developed ME ontology [12]. Particularly, an *Entity Super-Category* is an *Entity Category* –from the `requirements` component in Fig. 3-, which is defined in Table 1 as "*the object category that is to be characterized by measuring its attributes*". In turn, a *Calculable-Concept Focus* is a root *Calculable Concept* and it is *represented by* one or more *Calculable-Concept Model* –see the `requirements` component. A *Calculable-Concept Model* is defined in Table 1 as "*the set of calculable concepts and the relationships between them, which provide the basis for specifying the root calculable-concept requirements and their further evaluation*".

Ultimately, Fig. 3 shows the added `quality_view` component –which includes those yellow-colored key terms in Fig. 1- and its linking with the non-functional

`requirements` component, which is one component of the C-INCAMI conceptual framework. Note also that in Fig. 1 the terms belonging to the `requirements` component are green colored as in Fig. 3.

3 Quality Views and Strategy Patterns: An Abridged Discussion

It is well-known that ontologies are widely used for different purposes [3] (e.g., natural language processing, knowledge management, information integration, semantic web processing) in different communities (e.g., knowledge engineering, web and software engineering). The previous Section has specified the ontology of quality views which is paramount for defining ME and MEC strategy patterns [14].

A strategy pattern can be seen as a general reusable solution to recurrent problems within given measurement, evaluation and change/improvement situations for specific projects' goals. So, in the following paragraphs, we analyze some strategy patterns that can be defined considering the type of ME/MEC project goal (e.g. understand, change/improve) and the type and amount of quality views that can intervene (recall Fig. 2), which can be one or more. It is worthy to remark that the quality views ontology plays a central role in defining strategy patterns. That is, without a clear specification of the terms and relationships for quality views, the ulterior specification of strategy patterns could not be done appropriately. Specifically, the quality views ontology fosters the specification and selection of appropriate strategy patterns and their instantiation regarding different ME/MEC project goals.

Usually, strategy patterns are documented by templates. In a previous work [14], we have specified a set of strategy patterns following to some extent the pattern specification template used in [5]. Our template includes the following items: (1) *name*: A descriptive and unique name, usually expressed in English; (2) *alias*: Acronym or other names for the pattern; (3) *intent:* Main objective for the pattern; (4) *motivation* (problem): Problem which solves the pattern; (5) *applicability*: Situations in which the pattern can be applied; (6) *structure* (solution): Generic structure and instantiable solution that the pattern offers; (7) *known uses*: References of real usage; (8) *scenario of use*: Concrete example and illustration for the instantiated pattern.

As above mentioned, a strategy pattern must be selected according to the type of ME/MEC project goal and the amount of involved quality views. In this sense, we distinguish at least a set of six strategy patterns. Reassuming the example commented in the Introduction, viz. 'understand the usability of the current state of the XYZ mobile application', the ME project goal has an "understand" purpose embracing the *System Quality View* (i.e., the *Entity Super-Category* is System and the *Quality Focus* is EQ, where the concrete *Entity* is the "XYZ mobile application"). Therefore, a strategy pattern that considers just one quality view for ME should be selected. In [14], this strategy pattern is the so-called *Goal-Oriented Context-Aware Measurement and Evaluation for one Quality View* (alias GOCAME_1V). Supposing by a while that the project involves also a change (MEC) goal for one quality view, it

is now necessary not only to understand the current situation of the entity but also to perform changes on the entity in order to re-evaluate it and gauge the improvement gain. This strategy pattern is named *Goal-Oriented Context-Aware Measurement, Evaluation and Change for one Quality View* (alias GOCAMEC_1V). Both GOCAME_1V and GOCAMEC_1V share the same amount of involved quality views but they differ in the intended goal, i.e., while the former is intended mainly for the "understand" goal the latter is for the "improve" goal.

On the other hand, if the project involves MEC goals but for two quality views then the GOCAMEC_2V strategy pattern should be chosen. This strategy pattern addresses the fact that improving one quality view from other quality view is supported thanks to the *influences* and *depends on* relationships between quality views. As can be seen in Fig. 2, the *System Quality View influences* the *System-in-Use Quality View*, hence by evaluating and improving the *EQ Focus* of a *System* is one means for improving the *QinU Focus* of a *System in Use*. Conversely, evaluating the QinU can provide feedback to improve the EQ by exploring the *depends on* relationship. A concrete strategy derived from this pattern is the so-called SIQinU (*Strategy for Improving Quality in Use*). This strategy allows improving QinU from the EQ standpoint, as documented in the industrial case presented in [9].

The GOCAMEC_2V strategy pattern can also be instantiated for other two related quality views. For example, looking at Fig. 2 in which the resource quality (e.g., a new integrated tool) *influences* the process quality (e.g., a development process) and the process quality *depends on* the resource quality, GOCAMEC_2V should be instantiated respectively for *Resource* and *Process Quality Views*.

Furthermore, regarding the mentioned relationships between views, strategy patterns where three quality views intervene can be instantiated. For instance, we can mention the GOCAMEC_3V strategy pattern where the *Software Product*, *System* and *System-in-Use Quality Views* can be considered.

In summary, the modeling of many quality views and their relationships foster developing a family of patterns. Patterns are essentially ‘experience in a can’, to our case, ready to be opened and used by evaluators in quality assurance processes.

4 Related Work

In the literature review made about the few works that deal with the domain of quality views, we have observed there is no research defining a quality views ontology, nor an explicit glossary of terms. One of the most relevant works previously mentioned is the ISO 25010 standard [7], where different quality views and their ‘influences’ and ‘depends on’ relationships are presented informally in an annex. It illustrates that the software lifecycle processes (such as the quality requirements process, design process and testing process) influence the quality of the software product and the system; the quality of resources, such as human resources, software tools and techniques used for the process, influence the process quality, and consequently, influence the product quality; among other influences relationships between quality views. However, the explicit definition of the quality view term and

the 'influences' and 'depends on' relationships are missing in its glossary. Moreover, it is not a clear association between a quality focus and an entity category nor the definitions of the different entity categories as we made in Table 1.

Other initiative related to quality views is [10] in which just the 'influences' relationship between EQ and QinU is determined by means of Bayesian networks, taking as reference the ISO 9126 standard [8]. However, it does not present a conceptual base in the context of a holistic quality evaluation approach as we propose.

Lastly, we can mention the 2Q2U (*Internal/External Quality, Quality in Use, Actual Usability, and User experience*) quality framework [11]. This work extends the quality models defined in [7] adding new sub-characteristics for EQ and QinU, and considers the 'influences' and 'depends on' relationships for three quality views, namely: *Software Product*, *System* and *System-in-Use Quality Views*. But an explicit ontology for the quality views domain as we propose in this paper is missing.

In summary, there are no related works for the definition and specification of an ontology of quality views. Moreover, there is no research that relates quality views' terms with non-functional requirements' terms as we documented in Section 2. However, there exists research about ontologies in software measurement, e.g., the Software Measurement Ontology (SMO) [1], in which authors relate foundational ontologies with domain ontologies. This clear separation of concern between generic and domain ontologies will be dealt in a future for our ontology of quality views.

Finally, having well-defined quality views and their relationships provides the basis for a more robust selection of strategy patterns for ME/MEC project goals (as commented in Section 3) and also contributes to enhance our quality evaluation approach.

5 Conclusions and Future Work

As commented in the Introduction Section, the architecture of our *holistic quality evaluation approach* is built on two columns: (1) *a quality multi-view modeling framework,* and (2) *ME/MEC integrated strategies*. One discussed contribution in this work is the specification of the ontology of quality views, aimed at adding robustness to our approach. To build this ontology we have reviewed the related literature to the quality views domain. Specifically, we have observed that there is no such an ontology, taxonomy or glossary for this domain.

Note that in this paper, we have addressed the ontology representation and a possible instantiation of it rather than the ontology construction process itself. Nevertheless, the stages proposed in the METHONTOLOGY [4] approach were followed such as specification, conceptualization, formalization and integration. The integration stage was done by relating the quality views ontology with the previous C-INCAMI's ME ontology. This fulfills the second contribution stated in the Introduction Section. As a consequence, the former conceptual base for the *holistic quality evaluation approach* was enhanced.

Regarding the third stated contribution, we have analyzed in Section 3 the importance of having well-defined quality views and their relationships with the aim

of defining and selecting strategy patterns for different ME/MEC project goals.

As future work, we envision the development of a strategy pattern recommender system as a practical use of the quality views ontology in the context of the holistic quality evaluation approach. This system can be useful when an organization establishes a ME/MEC project goal. So, taking into account the type of project goal and the amount of involved quality views, the strategy pattern recommender system will suggest the suitable strategy pattern that fits that goal.

References

1. Barcellos M.P., Falbo R. A., Dalmoro R.: A Well-Founded Software Measurement Ontology. In 6th International Conference on Formal Ontology in Information Systems (FOIS), pp. 213-226, (2010)
2. Becker P., Papa F., Olsina L.: Process Ontology Specification for Enhancing the Process Compliance of a Measurement and Evaluation Strategy. In CLEI Electronic Journal 18(1), pp. 1-26. ISSN 0717-5000, (2015)
3. Corcho O., Fernández-López M., Gómez-Pérez A.: Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? Data & Knowledge Engineering 46(1), pp. 41–64, (2003)
4. Fernández-López M., Gómez-Pérez A., Juristo N.: METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. Spring Symposium on Ontological Engineering of AAAI, pp. 33–40, Stanford University, California, (1997)
5. Gamma E., Helm R., Johnson R., Vlissides J.: Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addisson-Wesley, ISBN 0-201-63361-2, (1995)
6. Gruber T.R.: A Translation Approach to Portable Ontologies. Knowledge Acquisition, 5(2), pp. 199–220, (1993)
7. ISO/IEC 25010: Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models, (2011)
8. ISO/IEC 9126-1: Software Engineering Product Quality - Part 1: Quality Model (2001)
9. Lew P., Olsina L., Becker P., Zhang, L.: An Integrated Strategy to Systematically Understand and Manage Quality in Use for Web Applications. Requirements Engineering Journal, Springer London, 17(4), pp. 299-330, (2012)
10. Moraga M.A, Bertoa M.F., Morcillo M.C., Calero C., Vallecillo A.: Evaluating Quality-in-Use Using Bayesian Networks. In QAOOSE 2008, Paphos, Cyprus, pp 1-10, (2008)
11. Olsina L., Lew P., Dieser A., Rivera M.B.: Updating Quality Models for Evaluating New Generation Web Applications. In Journal of Web Engineering, Special issue: Quality in new generation Web applications, Abrahão S., Cachero C., Cappiello C., Matera M. (Eds.), Rinton Press, USA, 11(3), pp. 209-246, (2012)
12. Olsina L., Papa F., Molina H.: How to Measure and Evaluate Web Applications in a Consistent Way. HCIS Springer book *Web Engineering: Modeling and Implementing Web Applications*; Rossi G., Pastor O., Schwabe D., and Olsina L. (Eds.), pp. 385-420, (2008)
13. OMG-UML. Unified Modeling Language Specification, Version 2.0. (2005)
14. Rivera M.B., Becker P., Olsina L.: Strategy Patterns for Measurement, Evaluation And Improvement Projects (In Spanish). XVIII Iberoamerican Conference in Software Engineering (CIbSE'15), Lima, Perú, pp. 166-180, ISBN: 978-9972-825-80-4, (2015)
15. van Heijst G., Schreiber A.T., Wielinga B.J.: Using Explicit Ontologies in KBS Development. International Journal of Human-Computer Studies, 46, pp.183-292, Academic Press, Inc. Duluth, MN,USA, (1997)