

Original research / Artículo original / Pesquisa original - Tipo 1

DW2RDF4SDG – Ontology Modeling from Multi-Dimensional Cubes for Sustainable Development Goals

Flavia Serra / fserra@fing.edu.uy

Universidad de la República, Uruguay

Tatiana Delgado / tdelgado@ind.cujae.edu.cu

Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba

ABSTRACT Multidimensional models and their measures regarding different dimensions are powerful instruments for decision makers. An ontology, in its basic expression as RDF, represents the reality from relationships between classes, and it is the base for linked data of the semantic Web. This work provides a basic methodology to obtain an ontology RDF from a multidimensional model of a data warehouse, capable to be aligned to other ontology of the Sustainable Developments Goals. Specifically, an approaching of alignment with the Sustainable Development Goals Interface Ontology [SDGIO] emerging by the United Nations Environmental Program [UNEP] is included. This methodology labeled as DW2RDF4SDG is instrumented for the SDG 6, aimed to ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all.

KEYWORDS Sustainable Development Goals; multidimensional model; data warehouse; ontology; water.

DW2RDF4SDG – Modelado de ontologías desde cubos multidimensionales en función de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

RESUMEN Los modelos multidimensionales y sus medidas en relación con diferentes dimensiones son poderosos instrumentos para la toma de decisiones. Las ontologías, en su expresión básica como RDF [*Resource Description Framework*] representan la realidad a partir de relaciones entre clases, y constituyen la base de los datos enlazados de la Web semántica. Este trabajo provee una metodología sencilla para, partiendo de un modelo multidimensional de *Data Warehouse* obtener una ontología RDF que sea fácilmente enlazable a otras ontologías de los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030, más específicamente a la Ontología de Interface de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [SDGIO] que está emergiendo por un esfuerzo global impulsado por el Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente [*United Nations Environment Programme, UNEP*]. La metodología ofrecida, etiquetada como DW2RDF4SDG, se instrumenta para el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 [ODS6], el cual está dirigido a asegurar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y saneamiento para todos.

PALABRAS CLAVE Objetivos de Desarrollo Sostenible; modelo multidimensional; data warehouse; ontología; agua.

DW2RDF4SDG – Modelagem multidimensional de cubos a partir de ontologias, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

RESUMO Os modelos multidimensionais e suas medidas em relação a diferentes dimensões são ferramentas poderosas para a tomada de decisões. As ontologias, na sua expressão básica como RDF [*Resource Description Framework*], representam a realidade a partir das relações entre classes e constituem a base dos dados vinculados da Web Semântica. Este artigo fornece uma metodologia simples para, a partir de um modelo multidimensional de *Data Warehouse*, obter uma ontologia RDF que possa ser facilmente vinculada a outras ontologias dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável até 2030, mais especificamente para a Ontologia de Interface dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável [SDGIO] que está emergindo através de um esforço global impulsionado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente [UNEP]. A metodologia oferecida, rotulada como DW2RDF4SDG, é implementada para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 [SDG6], que visa garantir a disponibilidade e o gerenciamento sustentável de água e saneamento para todos.

PALAVRAS-CHAVE Metas de Desenvolvimento Sustentável; modelo multidimensional; data warehouse; ontologia; água.

I. Introduction

Multi-dimensional models and their measurements are powerful tools for decision making according to different dimensions. Ontologies, in their basic expression as a Resource Description Framework [RDF], represent realities based on relations between classes and constitute the basis of the linked data of the semantic Web. Ontologies allow to represent a set of organized concepts of a specific topic, as well as make inferences (Pinilla & Barón, 2015).

The increase in the application of information and communication technologies means that little by little, cities are approaching the standards that define them as intelligent cities (Wiseli, Tanusetiawan, & Purnomo, 2017). The importance of this type of cities lies in providing an infrastructure that guarantees, among others, sustainable development. Based on the above, this study presents a proposal in which, through the application of technologies, expects to contribute to the achievement of the Sustainable Development Goals [SDG] - 2030, approved by the United Nations [UN] in 2015.

This paper provides a simple methodology for, starting from a multi-dimensional Data Warehouse model, to obtain an RDF ontology that is easily linked to other ontologies of the ODS-2030, more specifically to the Sustainable Development Objectives Interface Ontology [SDGIO] that is emerging through a global effort driven by the United Nations Environment Program [UNEP].

The proposal focuses on analyzing households that have safe drinking water and sanitation in the world. At the same time, it is interesting to observe the evolution, through the years, of the quality of water in homes, their availability, etc. Although this objective is somewhat ambitious, this study proposes considering as a starting point, a country as a case study so that later this analysis can be extended to the rest of the world.

The rest of the document is organized as follows: section 2 presents the related works; in section 3 the DW2R-DF4SDG methodological proposal is presented, where the applied methodology and a case study are shown; and finally, in section 4, the conclusions and future work are presented.

II. Related Studies

In this section, some studies, projects, and policies of States that address the SDGs and that present water as a resource of interest, are discussed. Some works do not focus exactly on SDG 6, the goal studied in this proposal.

I. Introducción

Los modelos multidimensionales y sus medidas en relación con diferentes dimensiones son poderosos instrumentos para la toma de decisiones. Las ontologías, en su expresión básica como marco de descripción de recursos [RDF, *Resource Description Framework*], representan la realidad a partir de relaciones entre clases, y constituyen la base de los datos enlazados de la Web semántica. Las ontologías permiten representar un conjunto de conceptos organizados de un tema específico y hacer inferencias (Pinilla & Barón, 2015).

El incremento en la aplicación de tecnologías de la información y de la comunicación hace que, poco a poco, las ciudades se aproximen a los estándares que las definen como ciudades inteligentes (Wiseli, Tanusetiawan, & Purnomo, 2017). La importancia de este tipo de ciudades radica en proveer una infraestructura que garantice, entre otros, un desarrollo sostenible. Con base en ello, este trabajo presenta una propuesta en la cual, mediante la aplicación de tecnologías, se plantea contribuir al alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS] – 2030, aprobados por la Organización de las Naciones Unidas [ONU] en 2015.

Este trabajo provee una metodología sencilla para, partiendo de un modelo multidimensional de *Data Warehouse*, obtener una ontología RDF que sea fácilmente enlazable a otras ontologías de los ODS-2030, más específicamente a la Ontología de Interface de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [SDGIO, *Sustainable Development Objectives interface Ontology*] que está emergiendo por un esfuerzo global impulsado por el Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente [UNEP, *United Nations Environment Programme*].

La propuesta se enfoca en analizar los hogares que cuentan con agua potable y saneamiento en el mundo. A su vez, interesa observar la evolución, a través de los años, de la calidad del agua en los hogares, su disponibilidad, etc. Si bien este objetivo es un tanto ambicioso, este trabajo propone considerar como punto de partida, un país como caso de estudio para que posteriormente dicho análisis se extienda al resto del mundo.

El resto del documento está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se presentan los trabajos relacionados; en la sección 3 se presenta la propuesta metodológica DW2R-DF4SDG, donde se muestra la metodología aplicada y un caso de estudio; y finalmente, en la sección 4, se presentan las conclusiones y el trabajo a futuro.

II. Trabajos relacionados

En esta sección se comentan algunos trabajos, proyectos y políticas de Estados que abordan los ODS y que, de alguna manera, presentan al agua como un recurso de interés. Algunos trabajos no se enfocan exactamente en el ODS 6, objetivo al cual va dirigida esta propuesta. Sin embargo, por sus objetivos o conclusiones se consideran relevantes para la misma. Además, se presenta un análisis de los trabajos que abordan la posibilidad de generar una ontología a partir de Modelos Multidimensionales [MMD].

A. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*

La ONU presenta 17 objetivos para transformar el mundo (UN, 2015), los mismos se agrupan en tres categorías: sociales, económicos y medioambientales. Estos ODS se establecieron como una agenda internacional para abordar la pobreza, el cambio ambiental global y las transformaciones sociales hacia la sostenibilidad (Wiegleb, 2017).

Si bien todos los ODS son de gran importancia, en este trabajo se considera el objetivo número seis [ODS6], cuya prioridad es garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible, y el saneamiento para todos (UN, 2015). En particular, según Wiegleb (2017), este objetivo representa una agenda mundial del agua y una oportunidad para orientar las trayectorias de desarrollo hacia un mundo de seguridad hídrica mediante la gobernanza del agua. Wiegleb (2017) además de presentar un análisis de los ODS, define la gobernanza del agua como las instituciones, actividades y procesos formales e informales entre los diferentes actores, a través de los cuales se articulan los intereses colectivos sobre el agua y se establecen las diferencias y acciones conjuntas.

Por otro lado, el ODS6 describe varias metas; para el desarrollo de este trabajo se considera la meta en la cual se busca lograr, para el 2030, el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos.

Hoekstra, Chapagain, y van Oel (2017) presentan un análisis del progreso hacia el ODS6, en el cual estudian un conjunto de artículos en el campo de la Evaluación de la Huella Hídrica [WFA, *Water Footprint Assessment*]. Según los investigadores, la WFA es un área de investigación emergente, centrada en el análisis del uso del agua dulce, la escasez y la contaminación en relación con el consumo, la producción y el comercio. Si bien no es fácil encontrar una crítica constructiva acerca de los ODS, Hoekstra et al., (2017), mediante el análisis de investigaciones relacionadas con el ODS6, concluyen que el ODS6 carece de una meta para el uso del agua de lluvia de manera más eficiente y de un objetivo sobre el reparto equitativo del agua.

Más allá de las carencias del ODS6, identificadas por Hoekstra et al., (2017), es innegable que los ODS han ido ganando gran relevancia, lo que queda demostrado en el trabajo de Spijkers (2016), quien analiza si los mismos pueden servir como apoyo adicional para una interpretación "sostenible" de los principios generales del derecho internacional del agua. Spijkers (2016) consideran que los ODS, en particular el ODS6, se pueden utilizar para motivar a los Estados a: interpretar y aplicar la ley internacional del agua de manera sostenible; fomentar el desarrollo del enfoque de ecosistemas en la legislación internacional del agua; y utilizar el marco legal de la ley internacional del agua para facilitar la participación pública en todos los niveles de gobernanza del agua.

Biermann, Kanie, y Kim (2017), por su parte, proporcionan un análisis y una evaluación de la evolución, los fundamentos y las perspectivas futuras de los ODS. En particular, presentan cómo los ODS ejemplifican un nuevo tipo de gobernanza global. Según los autores, es un tipo de gobernanza novedosa, denominada "gobernanza a través de los objetivos", creada como

However, they are considered relevant to it by their objectives or conclusions. In addition, an analysis of the works that address the possibility of generating an ontology from Multi-Dimensional Models [MMD] is presented.

A. *Sustainable Development Goals*

The UN presents 17 goals to transform the world (UN, 2015). They are grouped into three categories: social, economic, and environmental. These SDGs were established as an international agenda to address poverty, global environmental change, and social transformations towards sustainability (Wiegleb, 2017).

Although all the SDGs have a great importance, this work considers the goal number six [SDG6], whose priority is to guarantee the availability of water and its sustainable management, and sanitation for everybody (UN, 2015). In particular, according to Wiegleb (2017), this goal represents a global water agenda and an opportunity to guide the trajectories of development towards a world of water security, through water governance. In addition to the analysis of the SDGs, Wiegleb defines the governance of water as the institutions, activities, and formal and informal processes among the different actors, through which the collective interests on water are articulated, and the differences and joint actions are established.

On the other hand, SDG6 describes several goals. The development of this work considers the goal in which it seeks to achieve, by 2030, universal and equitable access to drinking water, at a price accessible to everyone.

Hoekstra, Chapagain, and van Oel (2017) present an analysis of progress towards SDG6, in which they study a set of papers in the Water Footprint Assessment field [WFA]. According to the researchers, the WFA is an emerging research area, focused on the analysis of the use of fresh water, scarcity, and pollution concerning to consumption, production, and trade. It is not easy to find a constructive critique of the SDGs. By analyzing research related to SDG6, Hoekstra et al. (2017) conclude that SDG6 lacks a goal for the use of more efficient rainwater, as well as an objective on the equitable distribution of water.

Beyond the shortcomings of the SDG6, identified by Hoekstra et al., (2017), it is undeniable that the SDGs have obtained great relevance, which is demonstrated in the work of Spijkers (2016), who analyzes whether they can serve as additional support for a "sustainable" interpretation of the general principles of international water law. Spijkers (2016) consider that the SDGs, main-

ly SDG6, can be used to motivate States to: interpret and apply international water law in a sustainable way; promote the development of the ecosystem approach in international water legislation; and use the legal framework of international water law to facilitate public participation at all levels of water governance.

Biermann, Kanie, and Kim (2017), on the other hand, provide an analysis and evaluation of the evolution, the foundations and the future prospects of the SDGs. In particular, they present how the SDGs exemplify a new type of global governance. According to the authors, it is a type of new governance, called "governance through the objectives", created as a new mechanism of world politics, which uses global objectives or goals established by the member states of the UN.

Ait-Kadi (2016) highlights that SDG6 offers a promising future if countries affirm their leadership role in the direction of development and management of water resources, collaborating with the most vulnerable sectors. In addition, in order to carry out the vision of the SDGs, it is necessary to launch new strategies that make the way we all live and interact with our environment. The above to ensure that there is enough water to support development and inclusive well-being.

According to this vision, Giupponi and Gain (2017) present a tool to monitor progress, compare different geographical areas, highlight synergies, and conflicts within three dimensions: water, energy and food; to provide support for more effective strategies that meet the objectives. On the other hand, spatial data are crucial, because they contain the physical and socioeconomic phenomena of the areas of greatest interest for the development of the SDGs. Jha and Chowdary (2007) also consider that innovative technologies, such as the data obtained remotely and geographical information is a very important role.

Cope and Pincetl (2014) examine the state of spatial data on water management in the urban area of the city of Los Angeles (CA). The authors mention that the management of water resources is decentralized. Therefore, this decentralization generates an unequal quality of the geospatial data related to water management produced by the organizations available to the public. In this research, it is really important to have a central place to manage geospatial data, which determines an improvement, according to the authors, in the management of the resource in question, at all levels. Meanwhile, the United States Geological Survey [USGS] (2018)

un nuevo mecanismo de la política mundial, que utiliza objetivos globales establecidos por los Estados miembros de la ONU.

Ait-Kadi (2016) resalta que el ODS6 ofrece un futuro prometedor solamente si los países afirman su papel de liderazgo en la dirección del desarrollo y de la gestión de los recursos hídricos, colaborando con los sectores más vulnerables. Además, agregan que, para llevar a cabo la visión de los ODS, es necesario poner en marcha nuevas estrategias que rijan la forma en que todos vivimos e interactuamos con nuestro entorno, para garantizar que haya suficiente agua para apoyar el desarrollo y el bienestar inclusivo. Acorde con esta visión, Giupponi y Gain (2017) presentan una herramienta para monitorear los progresos, comparar diferentes áreas geográficas, resaltar sinergias y conflictos entre, y dentro, de tres dimensiones: agua, energía y alimentos; para proporcionar apoyo a estrategias más efectivas que permitan cumplir con los objetivos. Por otro lado, subrayan que los datos espaciales son cruciales, porque contienen los fenómenos físicos y socioeconómicos de las áreas de mayor interés para planificar los desarrollos hacia los ODS. También Jha y Chowdary (2007) consideran que las tecnologías innovadoras, como es el caso de los datos obtenidos de forma remota y la información geográfica, juegan un rol muy importante.

Cope y Pincetl (2014) examinan el estado de los datos espaciales sobre la gestión del agua en el área urbana de la ciudad de Los Ángeles (CA). Los autores mencionan que ahí la gestión de los recursos hídricos está descentralizada y que esta descentralización, genera, entre otras cosas, una calidad desigual de los datos geoespaciales referentes a la gestión del agua producidos por las organizaciones que son puestos a disposición del público. En esta investigación, se resalta la importancia de tener un lugar centralizado donde gestionar los datos geoespaciales, lo que determina una mejora, según los autores, en el manejo del recurso en cuestión, en todos los niveles. Mientras, el USGS [*United States Geological Survey*] (2018) presenta los recursos hídricos de ese país, mediante el uso de mapas e información geográfica que muestran distintos datos referentes a diferentes usos del agua.

Es indiscutible que el uso de la tecnología proporciona ventajas a la hora de obtener y procesar datos que permitan realizar distintos seguimientos, y los ODS han ampliado las opciones para recopilar dichos datos. Sin embargo, éstos también han resalta el rol fundamental que tienen las fuentes de datos, como lo son, por ejemplo, las encuestas de hogares, que permiten rastrear el progreso y monitorear las desigualdades. Esto queda demostrado en el trabajo de Khan et al., (2017), donde mediante un estudio confirman la factibilidad de recopilar información sobre la disponibilidad y calidad del agua potable.

Como se mencionó, es de gran interés dar apoyo a los países altamente vulnerables y es, principalmente, en base a sus necesidades que se busca el desarrollo de los ODS. Por ejemplo, en (Wayerworld, 2017) mencionan que millones de personas no tienen acceso al agua limpia y agregan que con la creciente demanda de dicho recurso, es necesaria una mejor gestión del suministro del agua. Esto último queda demostrado en el estudio realizado en (Khan et al, 2017), donde los autores conclu-

yen que es más probable que el agua potable consumida en los hogares esté más contaminada que el agua recolectada en las fuentes. De acuerdo con esto y mediante un caso de estudio en Sudáfrica, en (Cumming et al., 2017) muestran la necesidad de infraestructura ecológica en numerosos temas de desarrollo y sostenibilidad, incluida la seguridad alimentaria, el suministro de agua y la reducción de la pobreza. Por otro lado, en (Mugagga & Nabaasa, 2016) tomando como base los ODS, discuten la centralidad de los recursos hídricos en toda África. También en (Jha & Chowdary, 2007) presentan un caso de estudio, en el cual analizan los distintos problemas que tiene la India por falta de recursos hídricos.

Todos estos trabajos, en diferentes formas, apoyan la necesidad de plantear una propuesta que resuelva cómo enfrentar la necesidad del agua como recurso finito. En particular, es de vital importancia el objetivo al cual apunta esta investigación en última instancia: lograr el acceso del agua potable para todas las personas del mundo. Por otro lado, también se resalta la necesidad del uso de sensores y de tecnologías que apoyen la información geográfica.

B. Desde un modelo multidimensional a una ontología

Buscando responder a una serie de interrogantes acerca del agua como recurso, este trabajo plantea una propuesta que se convierte en un instrumento más general para cualquier ODS que se respalda en MMD (Malinowski & Zimnyi, 2008) y en ontologías (Ashraf, Chang, Hussain, & Hussain, 2015). Para esto, interesa analizar distintos trabajos que obtienen ontologías a partir de MMD.

Dado el uso de las ontologías en una amplia gama de aplicaciones, muchos investigadores han explorado la automatización del desarrollo de modelos de ontologías al reutilizar e inferir información de modelos de datos existentes (Albarrak & Sibley, 2011). Con base en esto, Albarrak y Sibley (2011) comparan diferentes métodos que traducen modelos de datos en modelos de ontologías. El presente trabajo se centra en los modelos de datos multidimensionales, en particular, para el desarrollo de esta propuesta, nos apoyamos en un almacén de datos [DW, *Data Warehouse*].

Un DW es una colección de datos orientados a temas, integrados, no volátiles y variables en el tiempo, organizados de tal forma que facilitan el proceso de la toma de decisiones (Inmon, 2005). Por otro lado, los datos que ofrece un DW son extraídos de diversas fuentes, integrados, limpiados y transformados para finalmente ser usados en el momento de la toma de decisiones (Inmon, 2005; Kimball & Ross, 2002; Golfarelli, & Rizzi, 2009). Uno de los desafíos de este tipo de sistemas es, justamente, la dinámica de integración de las diferentes fuentes de datos.

Los DW están basados en un MMD (Malinowski & Zimnyi, 2008). Este modelo permite una mejor comprensión de los datos y proporciona un mejor rendimiento en consultas complejas. Los datos, en los MMD, se presentan en un espacio n-dimensional, generalmente llamado cubo de datos o hipercubo. Un cubo de datos está definido por dimensiones (compuestas por jerarquías) y hechos [facts]. Las dimensiones representan a las distintas perspectivas que se utilizan para analizar los datos.

presents the water resources of that country, through the use of maps and geographic information that show different data referring to different water uses.

It is indisputable that the use of technology provides advantages in obtaining and processing data that allows different follow-ups. The SDGs have expanded the options for collecting such data. However, they have also highlighted the fundamental role of data sources, such as, for example, household surveys, which allow tracking progress and monitoring inequalities. The above is demonstrated in the study of Khan et al., (2017), where they confirm the feasibility of collecting information on the availability and quality of drinking water.

As mentioned, it is of great interest to support the highly vulnerable countries and it is mainly on the basis of their needs that the development of the SDGs is sought. For example, in Wayerworld they mention that millions of people do not have access to clean water and also with the growing demand for this resource, better management of water supply is necessary. The above is demonstrated in the study carried out in (Khan et al, 2017), where the authors conclude that drinking water consumed in households is more likely to be more contaminated than water collected from the sources. According to this and through a case study in South Africa, in Cumming et al., (2017) present the need for ecological infrastructure in numerous development and sustainability issues, including food security, water supply, and reduction of poverty. On the other hand, in Mugagga and Nabaasa (2016) based on the SDGs, they discuss the centrality of water resources throughout Africa. Also in Jha and Chowdary (2007) they present a case study, in which they analyze the different problems that India has due to lack of water resources.

All these works, in different ways, support the need of a proposal that resolves how to deal with the water necessity as a finite resource. In particular, the goal of this research is vital: to achieve access to drinking water for all the people of the world. On the other hand, it also highlights the need for the use of sensors and technologies that support geographic information.

B. From a Multi-Dimensional Model to an Ontology

Looking to answer a series of questions about water as a resource, this work plans a proposal that becomes a more general instrument for any SDG that is supported by MMD (Malinowski & Zimnyi, 2008) and ontologies (Ashraf, Chang, Hussain, & Hussain, 2015). Therefore, it is interesting to analyze different works that obtain ontologies from MMD.

Given the use of ontologies in a wide range of applications, many researchers have explored the automation of the development of ontology models by reusing and inferring information from existing data models (Albarrak & Sibley, 2011). Based on the above, Albarrak and Sibley compare different methods that translate data models into ontology models. The present work focuses on multi-dimensional data models. Mainly, we rely on Data Warehouse [DW] to the development of this proposal.

A DW is a collection of data-oriented to topics, integrated, non-volatile, and variable over time, organized in such a way as to facilitate the process of decision-making (Inmon, 2005). On the other hand, the data offered by a DW are extracted from integrated, cleaned, and transformed sources to finally be used at the time of decision making (Inmon, 2005; Kimball & Ross, 2002; Golfarelli, & Rizzi, 2009). One of the challenges of this type of systems is, precisely, the dynamics of integration of the different data sources.

The DW is based on an MMD (Malinowski & Zimnyi, 2008). This model allows a better understanding of the data and a better performance in complex queries. Into the MMDs, the data is presented in an n-dimensional space, generally called a data cube or hypercube. A data cube is defined by dimensions (composed by hierarchies) and facts. The dimensions represent the perspectives that are used to analyze the data.

Based on the DW characteristics, Nebot, Berlanga, Pérez, Aramburu, and Pedersen (2009) consider that the concepts in ontologies can be described with the facts and dimensions of this type of systems, so they take the DW as a repository of ontologies. On the other hand, Kurze, Gluchowski, and Bohringer (2010) introduce an ontology of multi-dimensional data and consider that said ontology is capable of improving the conceptual modeling of this type of systems. Also, Hoekstra et al., (2017) consider that ontologies can be used to represent the analytical and domain concepts stored in a DW. However, they mention that extracting these concepts from a DW in production is not a trivial task since there are often many facts and dimensions. Taking into account these difficulties, a set of mapping rules is defined in its work, which allows an ontology to be extracted from the constructions of a DW. Prat, Akoka, and Comyn-Wattiau (2012) also define a series of transformations that map the MMD into an ontology.

Con base en las características del DW, Nebot, Berlanga, Pérez, Aramburu, y Pedersen (2009) consideran que los conceptos en las ontologías podrían ser descriptos con los hechos y las dimensiones de este tipo de sistemas, por lo que toman el DW como un repositorio de ontologías.

Kurze, Gluchowski, y Bohringer (2010), por su parte, introducen una ontología de datos multidimensionales y consideran que dicha ontología es capaz de mejorar el modelado conceptual de este tipo de sistemas. También Hoekstra et al., (2017) consideran que las ontologías se pueden usar para representar conceptos analíticos y de dominio almacenados en un DW. Sin embargo, mencionan que extraer estos conceptos de un DW en producción no es una tarea trivial, ya que a menudo contienen muchos hechos y dimensiones. Teniendo en cuenta estas dificultades, en su trabajo definen un conjunto de reglas de mapeo que permiten extraer una ontología a partir de las construcciones de un DW. También Prat, Akoka, y Comyn-Wattiau (2012) definen una serie de transformaciones que mapean el MMD en una ontología.

En otro sentido, Moreira, Cordeiro, Campos, y Borges (2014) parten de una ontología para obtener un MMD. Los autores consideran que la conceptualización de fenómenos del mundo real en el diseño multidimensional continúa siendo un desafío. Por lo tanto, utilizando un conjunto de reglas de derivación, proponen obtener los conceptos multidimensionales a partir de una ontología. Si bien este enfoque es contrario al presentado en nuestra propuesta, en la cual se parte de un MMD para obtener una ontología, es interesante destacar la compatibilidad entre los MMD y las ontologías.

C. Ontología de interface de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

La Ontología de Interface de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [*Sustainable Development Goals Interface Ontology*, SDGIO] (Jensen, 2016) está siendo desarrollada bajo la coordinación del UNEP (2016) con el objetivo de brindar un puente semántico entre los ODS, sus metas e indicadores, y los grupos de entidades que ellos refieren. Para que sea suficientemente robusta, se propone importar clases desde numerosas ontologías existentes e incluir vocabularios aceptados universalmente en el dominio de los ODS-2030 para promover interoperabilidad.

Cuando no existan clases externas para agregarse a SDGIO, serán construidas nuevas ontologías para alcanzar que todos los indicadores y metas que tributan a los ODS se tengan en cuenta. Esta es una iniciativa relativamente nueva con cerca de dos años de trabajo, pero su concepción abierta le confiere una ventaja para la propuesta de este trabajo, aunque se requiera algo más de esfuerzo en el futuro para validar todo su aporte.

Considerando que muchas entidades tienen sus sistemas de gestión de información basados en DW previamente estructurados y operacionales, traducir sus modelos multidimensionales en constructos de conocimiento del ámbito de las ontologías para enlazarlos a factores monitoreados por los 17 ODS pudiera resultar en una contribución al seguimiento a nivel nacional, regional y global de los ODS- 2030.

III. Propuesta

Este trabajo propone una serie de pasos que, a partir de los datos almacenados en un DW, obtiene una ontología. Para dicho objetivo se utilizan las herramientas de Inteligencia de Negocios [BI, *Business Intelligence*] (Zimányi & Abelló, 2015), aplicando distintas operaciones OLAP [*OnLine Analytical Processing*] (Berson & Smith, 1997) que permitan estudiar las medidas o hechos obtenidos en el DW.

A. Enfoque metodológico DW2RDF4SDG

Para obtener una ontología a partir de los datos almacenados en un DW se plantean los siguientes pasos.

- Planteo de interrogantes: el conjunto de preguntas planteadas permite definir el dominio de interés.
- Definición del cubo multidimensional: teniendo en cuenta las interrogantes planteadas, se identifican las dimensiones, con las jerarquías correspondientes y los hechos que definen al cubo multidimensional. El modelo utilizado para la representación de las dimensiones y de las relaciones dimensional es CMDM [*Conceptual Multi Dimensional Model*], que, como su nombre lo indica, es un modelo conceptual para la especificación de bases multidimensionales (Carpani, 2000).
- Derivación de la ontología de dominio a partir del cubo multidimensional: para cada una de las dimensiones del cubo MDM se genera la ontología de dominio equivalente, obteniendo así una ontología para cada dimensión (ontologías parciales). Es decir, para cada concepto de la dimensión del DW, se selecciona su equivalente en alguna de las ontologías existentes (*SpatialObject*, *TemporalEntity*, etc.).
- Integración de las ontologías parciales: cada ontología parcial, que representa a una de las dimensiones del DW, se integra con las restantes, obteniendo así la ontología de dominio.
- Eliminación de elementos repetidos de la ontología resultante.
- Contextualización de la ontología con SDGIO propuesta por Naciones Unidas (Jensen, 2016): en esta etapa final se busca alinear la ontología propuesta con SDGIO para ofrecer mayor interoperabilidad con los estándares de facto que están asumiéndose a nivel global.

B. Caso de estudio: implementación de la propuesta para el ODS6

Dado que el agua es un recurso que debería ser accesible a todas las personas en el mundo, interesa analizar los hogares que cuentan con agua potable y saneamiento.

Es importante realizar este análisis teniendo en cuenta la evolución que ha habido en el mundo respecto a esta necesidad a través de los años. Si bien interesa un enfoque mundial, dicho estudio podría comenzar a realizarse en un país, para luego ir agregando el análisis de diferentes países hasta poder lograr una visión global.

Buscando validar la propuesta planteada, se presenta un caso de estudio que implementa la metodología descrita en la sección III.B, para el ODS6.

Otherwise, Moreira, Cordeiro, Campos, and Borges (2014) start from an ontology to obtain an MMD. The authors consider that the conceptualization of real-world phenomena in multi-dimensional design continues to be a challenge. Therefore, they propose to obtain multi-dimensional concepts from an ontology, through a set of derivation rules. Although this approach is contrary to that presented in our proposal, which refers to an MMD in order to obtain an ontology, it is interesting to highlight the compatibility between the MMD and the ontologies.

C. Sustainable Development Goals Interface Ontology

The Sustainable Development Goals Interface Ontology [SDGIO] (Jensen, 2016) is being developed under the coordination of UNEP (2016) with the aim of providing a semantic bridge between the SDGs, their goals and indicators, and the groups of entities that they refer. In order to get a robust enough ontology, it is proposed to import classes from numerous existing ontologies and to include vocabularies universally accepted in the SDG-2030 domain, and in order to promote interoperability too. When there are no external classes to be added to SDGIO, new ontologies will be built to achieve that all the indicators and targets of the SDGs are taken into account. This is considered a relatively new initiative with nearly two years of work, but its open conception gives it an advantage for the proposal of this study, although it requires more effort to validate all its contribution.

Considering that many entities have their information management systems based on structured and operational DW, translating their multi-dimensional models into knowledge constructs in the field of ontologies to link them to factors monitored by the 17 SDGs could result in a contribution to follow-up at the national, regional and global levels of the SDGs-2030.

III. Proposal

This paper proposes a series of steps to obtain an ontology, from the data stored in a DW. Hence, we use the tools of Business Intelligence [BI] (Zimányi & Abelló, 2015), applying different Online Analytical Processing [OLAP] operations (Berson & Smith, 1997) that allows studying the measures or the facts obtained in the DW.

A. DW2RDF4SDG Methodological Approach

The following steps are considered, in order to obtain an ontology from the data stored in a DW.

- Questions approach: the set of questions raised allows defining the domain of interest.

- Multi-dimensional cube definition: taking into account the questions planned, it is necessary to identify the dimensions with the corresponding hierarchies and the facts that define the multi-dimensional cube. The model used for the representation of dimensions and dimensional dimensions is Conceptual Multi-Dimensional Model [CMDM], which, as the name implies, is a conceptual model for the specification of multi-dimensional bases (Carpani, 2000).
- Derivation of the domain ontology from the multi-dimensional cube: for each of the dimensions of the MDM cube the equivalent domain ontology is generated, obtaining an ontology for each dimension (partial ontologies). In other words, for each concept of the DW dimension, its equivalent is selected in one of the existing ontologies (*SpatialObject*, *TemporalEntity*, etc.).
- Integration of partial ontologies: each partial ontology, which represents the dimensions of the DW, is integrated with the others, thus obtaining the domain ontology.
- Elimination of duplicated elements of the resulting ontology.
- Contextualization of the ontology with SDGIO proposed by the United Nations (Jensen, 2016): in this last stage, the aim is to align the proposed ontology with SDGIO to offer greater interoperability with the de facto standards that are assuming a global level.

B. Case Study: Proposal Implementation for SDG6

Since water is a resource that should be accessible to everyone in the world, it is important to analyze the households that have potable water and sanitation. It is also important to carry out this analysis due to the evolution that has occurred in the world regarding this need over the years. Although a global approach, this study could begin to be carried out in a country and then add the analysis of different countries until a global vision can be achieved.

In order to validate this proposal, it is analyzed a case study that implements the methodology described in section III.B, for SDG6. For this purpose, the following questions are raised first:

- What is the number of households that do not have drinking water or sanitation in the world?

Para dicho objetivo, se plantean en primer lugar, las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la cantidad de hogares que no tiene agua potable ni saneamiento en el mundo?
- ¿Cuántas personas son afectadas por no contar con agua potable ni saneamiento?
- ¿Cuántos niños/adultos/mujeres/hombres son afectados por no contar con agua potable ni saneamiento?
- ¿Cuál es la disponibilidad de agua potable en los hogares de un país en un momento dado?
- ¿Cómo ha evolucionado la disponibilidad de agua potable en una localidad o país a lo largo del tiempo?

Las respuestas obtenidas con base en el uso de las herramientas disponibles en el área de BI, ayudarían a localizar los hogares a los cuales es necesario llevar saneamiento y agua potable, lo que permitiría que las autoridades pertinentes tomen las acciones necesarias. Además, estas tecnologías podrían contribuir, con base en la predicción de los datos, en la toma de acciones y decisiones que permitan prevenir situaciones futuras.

Definición del cubo multidimensional

En esta sección se presenta el cubo multidimensional que se define para el análisis de las dimensiones y medidas que participan en la realidad correspondiente a los hogares que cuentan con agua potable y saneamiento en el mundo.

Las FIGURAS 1 y 2 corresponden a la representación gráfica de cada una de las dimensiones definidas con sus correspondientes jerarquías.

Las dimensiones se desprenden de las interrogantes antes planteadas y son las siguientes:

- *home*
- *geographicLocation*
- *time*

Como se observa en la FIGURA 1, la dimensión *Time* tiene una jerarquía de tres niveles: *Date*, *Month* y *Year*. Cada nivel tiene un identificador y un nombre.

Por otro lado, en la FIGURA 3 se presenta la representación gráfica de la relación dimensional, en la cual se cruzan todas las dimensiones definidas para obtener todas las medidas que participan en dicha relación.

Las medidas son las siguientes:

- *nbHome*
- *nbPersons*
- *nbChild*
- *nbAdult*
- *nbWomen*
- *nbMen*

Derivación de la ontología de dominio a partir del cubo multidimensional

Se construye, para cada dimensión del cubo multidimensional, una ontología parcial. En las FIGURAS 4, 5 y 6 se muestran las ontologías parciales para cada una de las dimensiones antes definidas.

Finalmente, luego de eliminar elementos repetidos, en la **FIGURA 7** se presenta la ontología resultante, obtenida a partir de la integración de las ontologías parciales.

Como se muestra en la **FIGURA 7**, a partir del marco ontológico construido para ODS6, se podrían complementar las preguntas de competencia planteadas en el paso 1 de la metodología (preguntas que responden a consultas analíticas del

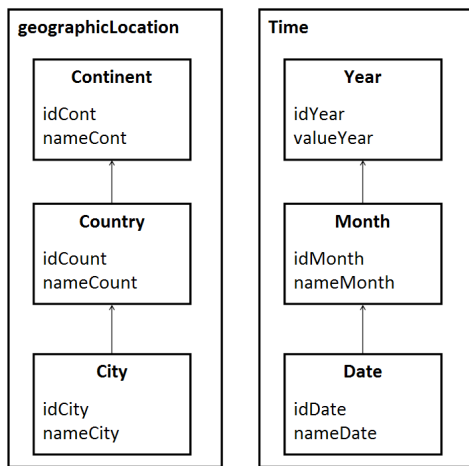


Figure 1. geographicLocation and time dimensions / Dimensiones geographicLocation y time

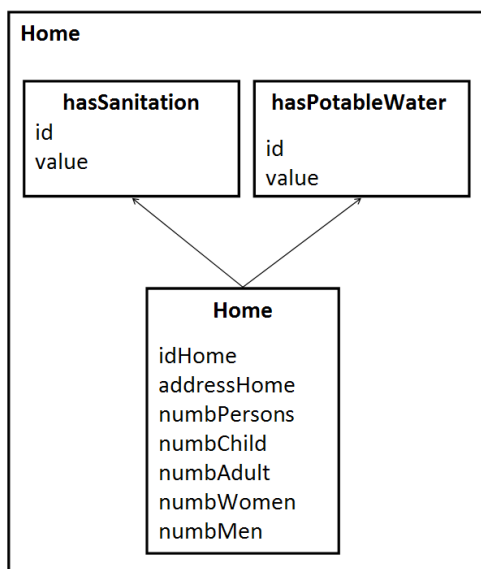


Figure 2. home dimension / Dimensión home

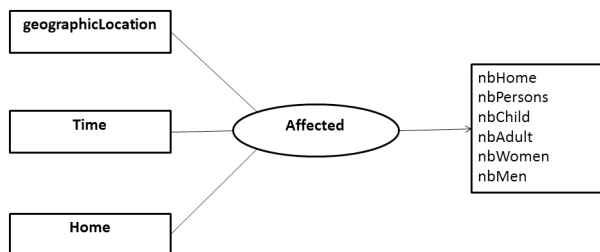


Figure 3. Affected dimensional relationship / Relación dimensional Affected

- How many people are affected by not having clean water or sanitation?
- How many children / adults / women / men are affected by not having clean water or sanitation?
- What is the availability of drinking water in the homes of a country at any given time?
- How has the availability of drinking water in a region or country evolved over time?

The answers based on the use of the tools available in the area of BI would help to locate the homes where is necessary to bring sanitation and safe water, which would allow the relevant authorities to take the necessary actions.

In addition, based on the prediction of the data, these technologies could contribute to take actions and make decisions that allow preventing future situations.

Multi-Dimensional Cube Definition

This section presents the multi-dimensional cube that is defined for the analysis of the dimensions and measures that participate in the households that have potable water and sanitation in the world.

FIGURES 1 and **2** correspond to the graphic representation of each of the defined dimensions with their corresponding hierarchies.

The dimensions emerge from the questions described above. They are:

- *home*
- *geographicLocation*
- *time*

As seen in **FIGURE 1**, the Time dimension has a hierarchy of three levels: Date, Month and Year. Each level has an identifier and a name.

On the other hand, **FIGURE 3** presents the graphic representation of the dimensional relationship, in which all the dimensions defined are crossed to obtain all the measures that participate in that relationship.

The measures are the following:

- *nbHome*
- *nbPersons*
- *nbChild*
- *nbAdult*
- *nbWomen*
- *nbMen*

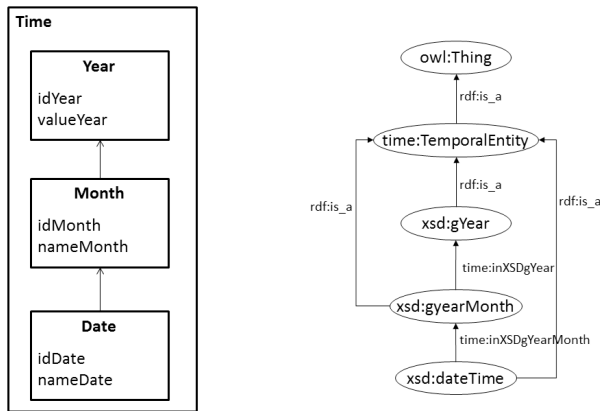


Figure 4. Ontology corresponding to the time dimension / Ontología correspondiente a la dimensión time

Derivation of the Domain Ontology from the Multi-Dimensional Cube

A partial ontology is constructed for each dimension of the multi-dimensional cube. In FIGURES 4, 5, and 6 the partial ontologies for each of the previously defined dimensions are shown below.

Finally, after eliminating duplicated elements, the resulting ontology is presented in FIGURE 7, obtained from the integration of the partial ontologies.

As shown in FIGURE 7, based on the ontological framework built for ODS6, the competency questions posed in step 1 of the methodology (questions responding to multidimensional cube analytic queries) could be complemented with other extensions of semantic queries. For example, questions would be raised regarding the geographic location of the analysis site, thanks to the link with the GEO ontological vocabulary, through the SpatialObject class. As the links of the classes, obtained from the dimensions of the cube, increase with other existing ontologies, the extension capacity of the queries would increase, as well as the contextualization of the origin data, also increasing its value for the decision maker.

Contextualization of the Ontology Proposed in the Framework of the SDGIO

In order to provide greater interoperability to the proposed ontology in the scope of the SDGs at the global level, it is proposed to align it to SDGIO as the last step of the DW2RDF4SDG Methodology (Jensen, 2016). There are very few studies, as far as could be obtained from the literature, which implement the SDGIO. Jensen (2016) and UNEP (2016) offer sketches of the SDGIO implementation. Following these good practices, it is possible

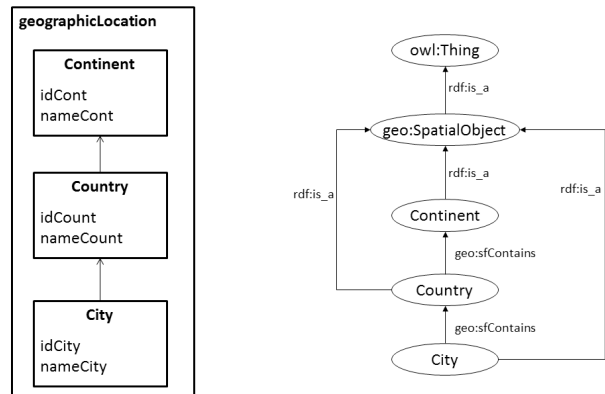


Figure 5. Ontology corresponding to the geographicLocation dimension / Ontología correspondiente a la dimensión geographicLocation

to extend semantic queries (e.g., multidimensional cube), with other extensions of semantic queries. For example, semantic queries related to the geographic location of the analysis site, thanks to the link with the GEO ontological vocabulary, through the SpatialObject class. As the links of the classes, obtained from the dimensions of the cube, increase with other existing ontologies, the extension capacity of the queries would increase, as well as the contextualization of the origin data, also increasing its value for the decision maker.

Contextualization of the ontology proposed in the marco de la SDGIO

Con vistas a proporcionarle mayor interoperabilidad a la ontología propuesta en el ámbito de los ODS a nivel global, se propone como última etapa de la metodología DW2RDF4SDG, alinearla a SDGIO (Jensen, 2016). Existen muy pocos trabajos, hasta donde se pudo obtener de la literatura, que implementan la SDGIO. Jensen (2016) y UNEP (2016) ofrecen esbozos de implementación de SDGIO. Siguiendo estas buenas prácticas, es posible alinear la ontología de seguimiento de la meta 6.1 de los ODS, relacionada con “lograr el acceso universal y equitativo al agua potable...”, la cual fue obtenida con nuestra metodología, con las interfaces universales propuestas por Naciones Unidas para monitorear los ODS-2030.

Jensen (2016) ilustra cómo se enlazan los objetivos con sus metas e indicadores, específicamente en el ámbito del ODS6, como se muestra en la FIGURA 8.

Para el caso de uso específico de este trabajo, partiendo de la FIGURA 8, habría que modelar la alineación, por ejemplo, de la forma siguiente:

<Drinking water> IsEquivalentTo <PotableWater>

Considerando que el proyecto SDGIO está aún en desarrollo, esta etapa está siendo abordada por el grupo de investigación para ofrecer una guía válida para su generalización futura.

Ventajas y limitaciones de la metodología DW2RDF4SDG

Partir de un modelo multidimensional le ofrece a la ontología construida la garantía de contar con dimensiones y jerarquías de dimensiones que tributan a hechos relevantes, con lo cual, la

construction of the ontology maximize the reuse of other open vocabularies on the Web that are linked to the obtained ontology. The above allows the built ontology to be ready to be aligned with others that represent knowledge in the scope of the SDGs and that facilitate the information management about the indicators and the goals that lead to its fulfillment.

The proposed methodology is aimed to transforming data models, from multi-dimensional cubes to RDF ontology schemes; that is, it remains in the TBox terminological dimension, and does not include in its scope offering methodological guides or rules to convert data stored in the *Data Warehouses* into individuals of the ontologies (*ABox*). However, this research intends to continue working so that, in addition to an ontology modeling instrument, it is a useful semantic query tool using the data that comes from the BI, through the advantage that it would offer to extend (semantically) Data Warehouse queries based on the link with other open data on the Web.

The DW2RDF4SDG methodology complements (no replace) to the traditional BI model. While BI is a powerful tool for decision making in any organization, linking the data models of a DW with open semantic data models, would allow it to extend static queries stored in a data warehouse and contextualize the data of

metodológicas ni reglas para convertir datos almacenados en los *Data Warehouses* en individuos de las ontologías (*ABox*). Sin embargo, esta investigación se propone continuar trabajando para que, además de un instrumento de modelación de ontologías, sea una herramienta útil de consulta semántica usando los datos que provienen de la BI, a través de la ventaja que ofrecería extender (semánticamente) las consultas del *Data Warehouse*, partiendo del vínculo con otros datos abiertos en la Web.

La metodología DW2RDF4SDG es un complemento del modelo tradicional de BI, no lo reemplaza. Si bien la BI es un instrumento poderoso para la toma de decisiones en cualquier organización, enlazar los modelos de datos de un DW con modelos de datos semánticos abiertos, le permitiría extender las consultas estáticas almacenadas en un data warehouse y contextualizar los datos de la organización con otros conjuntos de datos disponibles a través, por ejemplo, del proyecto de Datos Enlazados Abiertos [*Linked Open Data*].

IV. Conclusiones y trabajo a futuro

En este trabajo se presenta una propuesta que tributa al objetivo 6 de los ODS planteados por las Naciones Unidas, desde una perspectiva de monitoreo. Este objetivo describe varias metas, para el desarrollo de este trabajo se considera la meta en la cual se busca lograr, para el 2030, el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos. Además, se comenta y analiza un conjunto de trabajos que abordan los ODS, en particular el ODS6.

En esta búsqueda, la metodología DW2RDF4ODS que, a partir de un Data Warehouse, basado en un MMD, devuelve una ontología, es el principal aporte de este trabajo. La

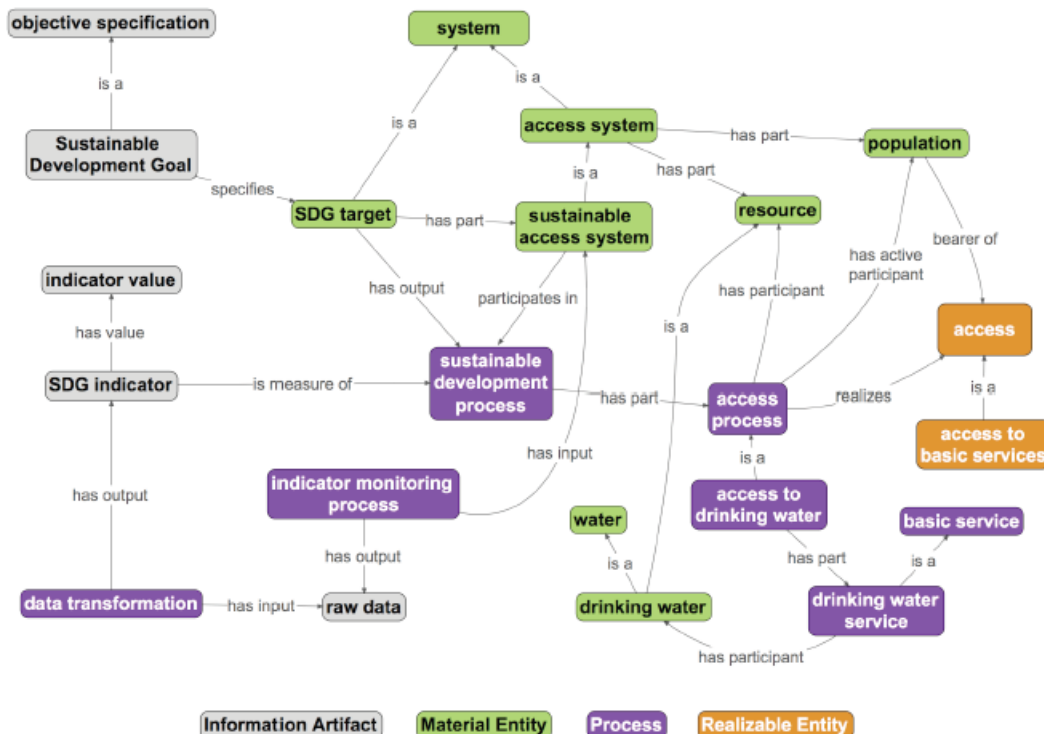



Figure 8. Linking of indicators, goals and objectives in the SDGIO framework / Enlazado de indicadores, metas y objetivos en el marco de la SDGIO (Jensen, 2016)

bibliografía nos permite afirmar que es factible llegar a una ontología partiendo de los datos almacenados en un DW. Si bien la bibliografía consultada no es vasta, demuestra que es un área de investigación en la cual es necesario profundizar; es con base en esta necesidad que se aborda nuestro trabajo. Finalmente, presentamos un caso de estudio que implementa la metodología propuesta para el ODS6.

Como trabajo a futuro, se propone profundizar en el desarrollo de la metodología para luego aplicarla en un DW más grande, que permita obtener una ontología que posteriormente sea publicada y compartida en la Web. Asimismo, deberá continuarse trabajando en la metodología para explotar las ventajas del paradigma de datos enlazados abiertos, con vistas a enriquecer los datos de la organización y ofrecerle al tomador de decisiones la capacidad de expandir las consultas considerando otros datos de contexto.

Por otra parte, queda espacio de investigación para próximos trabajos que se orienten a integrar las ontologías resultantes de la metodología DW2RDF4ODS con la SDGIO, para diversos ámbitos, y ofrecer mayor interoperabilidad a nivel global. 


the organization with other data sets available through, for example, the Linked Open Data project.

IV. Conclusions and future work

This paper presents a proposal that contributes to the objective 6 of the SDGs proposed by the United Nations, from a monitoring perspective. This objective describes several goals; for the development of this work is considered the goal in which it seeks to achieve, by 2030, universal and equitable access to drinking water, an affordable price for everyone. Additionally, a group of works that address the SDGs, in particular the SDG6, are discussed and analyzed.

In this search, the DW2RDF4ODS Methodology that, from a Data Warehouse, based on a MMD, returns an ontology, is the main report of this work. The bibliography allows us to affirm that it is feasible to get an ontology starting from the data stored in a DW. Although the bibliography consulted is not enough, it shows that it is an area of research in which it is necessary to go in depth; it is based on this need that our work is addressed. Finally, we present a case study that implements the proposed methodology for SDG6.

As future work, it is proposed to go into detail about the development of the Methodology and then apply it in a larger DW, which allows obtaining an ontology that subsequently be published on the Web. Likewise, we will continue working on the methodology to exploit the advantages of the open-bound data paradigm, in order to enrich the organization's data and offer the decision-maker the ability to expand queries by considering other context data.

On the other hand, there is research gap for future studies that are oriented to integrate the resulting ontologies of the DW2RDF4ODS Methodology with SDGIO, into various areas, and offer greater interoperability globally. 

Referencias / Referencias

- Ait-Kadi, M. (2016). Water for development and development for water: Realizing the Sustainable Development Goals (SDGs) Vision. *Aquatic Procedia*, 6, 106-110. doi: 10.1016/j.aqpro.2016.06.013
- Albarrak, K. M. & Sibley, E. H. (2011). A survey of methods that transform data models into Ontology models. In: *IEEE International Conference on Information Reuse & Integration, Las Vegas, NV, 2011*, (pp. 58-65). doi: 10.1109/IRI.2011.6009521.
- Ashraf, J., Chang, E., Hussain, O.K., & Hussain, F.K. (2015). Ontology usage analysis in the ontology lifecycle: A state-of-the-art review. *Knowledge-Based Systems*, 80, 34-47. doi:10.1016/j.knsys.2015.02.026
- Berson, A. & Smith, S. J. (1997). *Data warehousing, data mining, and OLAP*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Biermann, F., Kanie, N., & Kim, R.E. (2017). Global governance by goal-setting: the novel approach of the UN Sustainable Development Goals. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26-27, 26-31. doi:10.1016/j.cosust.2017.01.010
- Carpani, F. (2000). *CMDM: un modelo conceptual para la especificación de bases multidimensionales* [thesis]. Universidad de la República: Montevideo, Uruguay.
- Cope, M. A., & Pincetl, S. (2014). Confronting standards and nomenclature in spatial data infrastructures: A case study of urban Los Angeles county geospatial water management data. *IJSDIR*, 9, 36-58.
- Cumming, T.L, Shackleton, R., Förster, J., Dini, J., Khan, A., Gumula, M., & Kubiszewski, I. (2017). Achieving the national development agenda and the Sustainable Development Goals (SDGs) through investment in ecological infrastructure: A case study of South Africa. *Ecosystem Services*, 27(B), 253-260. doi:10.1016/j.ecoser.2017.05.005.
- Giupponi, C. & Gain, A.K. (2017). Integrated spatial assessment of the water, energy and food dimensions of the Sustainable Development Goals. *Regional Environmental Change*, 17(7), 1881-1893. doi:10.1007/s10113-016-0998-z.
- Golfarelli, M. & Rizzi, S. (2009). *Data warehouse design: Modern principles and methodologies*. New Delhi, India: McGraw-Hill.
- Hoekstra, A.J, Chapagain, A.K., & van Oel, P.R. (2017). Advancing water footprint assessment research: Challenges in monitoring progress towards Sustainable Development Goal 6. *Water*, 9(4), 438. doi:10.3390/w9060438.
- Inmon, W.H. (2005). *Building the data warehouse*. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons.
- Jensen, M. (2016). *Sustainable Development Goals Interface Ontology: Semantics for sustainability* [ppt]. Retrieved from: <http://ncgia.buffalo.edu/OntologyConference/PPT/Jensen.pdf>
- Jha, M. K., & Chowdary, V. M. (2007). Challenges of using remote sensing and GIS in developing nations. *Hydrogeology Journal*, 15(1), 197-200.
- Khan, S. M., Bain, R. S., Lunze, K., Unalan, T., Beshanski-Pedersen, B., Slaymaker, T., & ... Hancioglu, A. (2017). Optimizing household survey methods to monitor the Sustainable Development Goals targets 6.1 and 6.2 on drinking water, sanitation and hygiene: A mixed-methods field-test in Belize. *Plos One*, 12(12), 1-18. doi:10.1371/journal.pone.0189089.
- Kimball, R. & Ross, M. (2002). *The data warehouse toolkit: The complete guide to dimensional modelling*. New York, NY: Wiley.
- Kurze, C., Gluchowski, P., & Bohringer, M. (2010). Towards an ontology of multidimensional data structures for analytical purposes. In: *43rd Hawaii International Conference on System Sciences, Honolulu, HI*, (pp. 1-10). doi: 10.1109/HICSS.2010.485.
- Malinowski, E. & Zimnyi, E. (2008). *Advanced data warehouse design: From conventional to spatial and temporal applications (data-centric systems and applications)*. Berlin-Heidelberg: Springer.
- Moreira, J., Cordeiro, K., Campos, M. L., & Borges, M. (2014). Ontowarehousing - Multidimensional design supported by a foundational ontology: A temporal perspective, data warehousing and knowledge discovery. In: *Lecture Notes in Computer Science, 8646: Proceedings of the 16th International Conference, DaWaK 2014*, (pp. 35-44). Berlin-Heidelberg: Springer.
- Mugagga, F. & Nabaasa, B.B. (2016). The centrality of water resources to the realization of Sustainable Development Goals (SDG): A review of potentials and constraints on the African continent, *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3), pp. 215-223. doi:10.1016/j.iswcr.2016.05.004.
- Nebot, V., Berlanga, R., Pérez, J.M, Aramburu, M. J., & Pedersen, T. B. (2009). Multidimensional integrated ontologies: A framework for designing semantic data warehouses. *Lecture Notes in Computer Science, 5530: Journal on Data Semantics*, 13, 1-36. Berlin-Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-03098-7_1.
- Pinilla G. & Barón, J. (2015). Inference model for dynamic classification of monographs at university level. *Sistemas & Telemática*, 13(35), 23-38. doi: 10.18046/syt.v13i35.2150
- Prat, N., Akoka, J., & Comyn-Wattiau, I. (2012). Transforming multidimensional models into OWL-DL ontologies. In: *Research Challenges in Information Science (RCIS), 2012 Sixth International Conference on*. doi:10.1109/RCIS.2012.6240451. IEEE.
- Spijkers, O. (2016). The Cross-fertilization between the Sustainable Development Goals and international water law. *Review of European Comparative & International Environmental Law*, 25(1), 39-49. doi:10.1111/reel.12152.
- United Nation [UN]. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda of Sustainable Development* [A/RES/70/1]. Retrieved from: <https://sustainabledevelopment.un.org/post15/transformingourworld/publication>
- United Nations Environment Programme [UNEP]. (2016). Post 2015 Note #1: *Integrating the three dimensions of sustainable development*. Retrieved from: <http://www.unep.org/unea1/docs/UNEP%20Post%202015%20Note%201%20final.pdf>
- United States Geologic Survey [USGS]. (2017). *Maps and GIS data*. Retrieved from: <https://water.usgs.gov/maps.html>
- Wiegleb, V. (2017). Hydro-social arrangements and paradigmatic change in water governance: an analysis of the sustainable development goals (SDGs). *Sustainability Science*, doi:10.1007/s11625-017-0518-1.

- Wiseli, D., Tanusetiawan, R., & Purnomo, F. (2017). Simulation game as a reference to smart city management. *Procedia Computer Science*, 116, 468-475. doi:10.1016/j.procs.2017.10.053.
- Zimányi, E., & Abelló, A. (Eds.). (2016). *Lecture Notes in Business Information Processing, 253: Business intelligence: 5th European Summer School, eBISS 2015*, Barcelona, Spain, July 5-10, 2015. Cham, Switzerland: Springer.

CURRICULUM VITAE

Flavia Serra Engineer, Master in Computer Science a Ph.D student, also in Computer Science. She is an assistant professor at the Instituto de Ciencias de la Computación from Universidad de la República (Uruguay). Since 2004 she has participated in research projects and teaching activities in this department. Its main topics of interest are: data warehouses, geographic information systems, data quality and contexts / Ingeniera y profesora asistente en el Instituto de Ciencia de la Computación de la Universidad de la República (Uruguay). Tiene además un título de Máster en Ciencias de la Computación. Desde 2004 ha participado en proyectos de investigación y en actividades docentes en este departamento. Sus principales tópicos de interés son: almacenes de datos (*data warehouses*), sistemas de información geográfica, calidad del dato y contextos. Actualmente está comenzando sus estudios de doctorado en Ciencias de la Computación.

Tatiana Delgado Engineer in Automated Systems in Management from former Instituto Politécnico José Antonio Echevarría (La Habana, Cuba). She holds a Master degree in Optimization and Decision Making, and a Ph.D., in Technical Sciences. She is a Full Professor at the Business Information Department of the Universidad Tecnológica de La Habana and Vice President of the Union de Informáticos de Cuba. Her areas of interest are spatial data infrastructures, big data, ontologies, smart cities and IT Governance / Graduada de Ingeniería en Sistemas Automatizados en Dirección en el entonces Instituto Politécnico José Antonio Echevarría, ostenta un título de MSc en Optimización y Toma de Decisiones y el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Es Profesora Titular del Departamento Informática Empresarial de La Universidad Tecnológica de la Habana y Vicepresidenta de la Unión de Informáticos de Cuba. Sus áreas de interés son Infraestructuras de Datos Espaciales, Big Data, Ontologías, Smart Cities, Gobierno de TI.