

# Sistema basado en ontología para el apoyo a la toma de decisiones en el proceso de gestión ambiental empresarial

María Isabel Castellanos Domínguez<sup>1</sup>, Carlos Manuel Quevedo Castro<sup>1</sup>, Alfredo Vega Ramírez<sup>2</sup>, Irlán Grangel González<sup>3</sup>, Rosendo Moreno Rodríguez<sup>4</sup>

1 Facultad de Informática y Matemática, Universidad de Holguín, Cuba

2 Empresa de Servicios de Diseño e Ingeniería de Holguín, VERTICE, Cuba

3 Universidad de Bonn, Alemania

4 Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba

{mcastellanosd, cquevedoc}@facinf.uho.edu.cu,  
alfredo.vega@vertice.cu, grangel@cs.uni-bonn.de,  
rosendo@uclv.edu.cu

**Resumen.** Una de las formas de representación del conocimiento más empleadas actualmente son las ontologías; las cuales ofrecen disímiles ventajas para la modelación, generación, distribución y uso del conocimiento producido y acumulado en las organizaciones. Dadas estas ventajas para la gestión del conocimiento, las ontologías son ampliamente usadas para gestionar los grandes volúmenes de información ambiental que devienen de este proceso; principalmente del almacenamiento histórico de los indicadores ambientales. Es por esta razón, que se propone un sistema basado en la ontología *OntoEnvironmental* para la gestión del conocimiento de los indicadores ambientales que rigen el proceso de gestión ambiental empresarial. Este sistema se sustenta en una arquitectura de software basada en ontología, que integra las tecnologías necesarias para gestionar el conocimiento semántico. Esta arquitectura mediante la máquina de inferencia constituida por los *frameworks Jena* y *OWL API*, junto con el razonador *Pellet*, permite extraer el conocimiento implícito de la ontología. Además, permite detectar la alteración de un indicador si sobrepasa un valor límite, recomendando los posibles impactos ambientales, las causas de la alteración del indicador y las acciones de mitigación. Para la modelación de *OntoEnvironmental* se usó la metodología NeOn, el lenguaje *OWL-DL* y la herramienta *OpenLink Virtuoso* para la gestión de la ontología en la arquitectura propuesta.

**Palabras Claves:** sistema basado en ontología, gestión del conocimiento, arquitectura semántica

**Abstract.** One of the most currently used knowledge representation forms are ontologies; which offer dissimilar advantages for modeling, generation, distribution and use of knowledge produced and accumulated in organizations. Given these advantages for knowledge management, ontologies are widely used to manage large volumes of environmental information that arise from this process, primarily the historical storage of environmental indicators. It is for this

reason has implemented a computer system for the management of environmental knowledge based on ontology OntoEnvironmental; which model the environmental indicators that rules the environmental management business process. To facilitate access to modeled knowledge in the ontology was implemented a computer system built on a software architecture based on ontology, which integrates the technologies needed to manage the semantic knowledge. This architecture allows through the inference engine constituted by Jena and OWL API frameworks, along with the Pellet reasoned to extract the implicit knowledge on the ontology. Also, the ontology detects the alteration of an indicator if it exceeds a limit value, recommending the possible environmental impacts, the indicator alteration causes and mitigation actions. To modelate OntoEnvironmental was used the NeOn methodology, the OWL-DL language and OpenLink Virtuoso tool for the management of the ontology in the proposed architecture.

**Keywords:** ontology based system, knowledge management, semantic architecture

## 1 Introducción

El conocimiento es una red de conceptos que provee un contexto para los datos y la información; constituyendo un factor decisivo para la toma de decisiones, permitiendo a la organización manejar los retos y oportunidades del mercado [1]. La gestión del conocimiento (GC) es un conjunto de procesos sistemáticos que transita desde una etapa de identificación y captación del capital intelectual; a otra etapa de tratamiento, desarrollo, compartimiento y utilización del conocimiento [2, 3].

En los procesos de una entidad es necesario hacer una correcta gestión del conocimiento para garantizar su buen desempeño. Es por esta razón, que en el proceso de gestión ambiental (GA) se necesita contar con métodos y herramientas que faciliten este fin. La herramienta de gestión más importante para el control medioambiental son los indicadores (un dato que ha sido seleccionado a partir de un conjunto estadístico más amplio por poseer una significación y una representatividad particular) [4, 5].

La utilidad de los indicadores ambientales consiste en facilitar, tanto a la dirección de la organización; como al resto de los miembros, información relevante, resumida en forma de declaraciones concisas e ilustrativas para la toma de decisiones. Por lo tanto, aseguran una rápida evaluación de las principales mejoras y de los puntos débiles en la protección ambiental de la empresa para aquellos que han de tomar las decisiones y contribuir así, en la mejora de la gestión del conocimiento ambiental [4].

De acuerdo a Castellanos Domínguez [3] se entiende por gestión del conocimiento ambiental a la capacidad de la empresa para acceder, generar, representar-transferir, aplicar y retroalimentar el conocimiento relativo al proceso de GA (el cual es un proceso transversal al resto de los procesos de la organización) para incorporar dicho conocimiento a los productos, servicios y sistemas. Para lograr el propósito anterior, en

investigaciones precedentes se propone el “Procedimiento para la gestión del conocimiento ambiental mediante ontología”. Este procedimiento se apoya para representar el conocimiento en el sistema basado en ontología que se describe en esta investigación. Esta propuesta se sustenta en las potenciales mejoras que las Tecnologías Semánticas (TS), principalmente las ontologías, ofrecen para la representación del conocimiento del dominio ambiental [6]. Lo anterior está dado a que las ontologías permiten especificar y comunicar el conocimiento del dominio de una manera genérica y son muy útiles para estructurar y definir el significado de los términos. Además, posibilitan una forma para la reutilización del conocimiento del área abordada [7, 8].

Con el objetivo de gestionar el conocimiento ambiental que se infiere del almacenamiento histórico de los indicadores ambientales de la empresa en esta investigación se propone un sistema informático basado en la ontología *OntoEnvironmental* que se sustenta en una propuesta de arquitectura generalizable que soporta el proceso de gestión del conocimiento semántico.

## 2 Modelación de la ontología *OntoEnvironmental*

El modelado de la ontología se realizó según la metodología NeOn; para el cual se hizo necesario un estrecho vínculo entre los ingenieros ontológicos y los expertos del dominio, que en este caso son los especialistas de gestión ambiental consultados. NeOn se basa en escenarios, puesto que se ha detectado que existen diferentes maneras o caminos para construir ontologías y redes de ontologías. Esta metodología posee como característica la flexibilidad, debido a que brinda la posibilidad de adaptación a las necesidades de los usuarios y garantiza la inclusión de nuevos procesos o actividades implicados en el desarrollo de ontologías [9].

Luego de un estudio detallado de la metodología NeOn para determinar que escenarios serán utilizados en el desarrollo de la ontología se seleccionaron:

- Escenario 1. Desde la especificación hasta la implementación
- Escenario 7. Reutilización de los patrones de diseño de ontologías
- Escenario 9. Localización de los recursos ontológicos

Posteriormente se realizaron entrevistas a los expertos del dominio para la especificación de requisitos de la ontología; como salida se obtiene el Documento de Especificación de Requisitos Ontológicos (DERO), donde se refleja el propósito, ámbito y nivel de formalidad de la ontología, así como los usuarios y usos previstos, además de exponerse otros elementos mostrados en la Tabla 1.

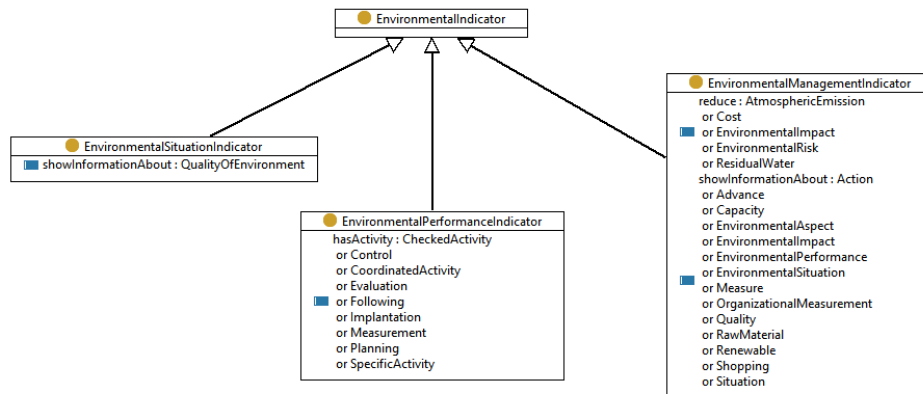
**Tabla 1.** DERO de *OntoEnvironmental*. Subdominios de indicadores ambientales

<b>Plantilla para el Documento de Especificación de Requisitos de la Ontología (DERO)</b>	
<b>1 y 2</b>	<b>Propósito y alcance</b>

	Formalizar, codificar y gestionar el conocimiento ambiental de los indicadores ambientales empresariales, en una ontología
<b>3</b>	<b>Lenguaje de implementación</b> <i>OWL DL</i>
<b>4</b>	<b>Usuarios finales previstos</b> Especialistas de gestión ambiental de la Empresa de Ingeniería y Proyectos (ENPA) y otras empresas que utilicen los indicadores ambientales
<b>5</b>	<b>Usos previstos</b> Almacenar el conocimiento relativo a los indicadores ambientales; para evaluar el comportamiento ambiental de la entidad y poder mitigar los posibles impactos ambientales
<b>6</b>	<b>Requisitos</b> a. Requisitos no funcionales: la ontología debe ser modular, el idioma de la ontología debe ser el inglés y multilingüe (idioma inglés-español) b. Requisitos funcionales: los requisitos funcionales fueron expresados en forma de preguntas de competencia.
<b>7</b>	<b>a. Términos de las preguntas de competencia</b> tipos, partes, criterio, componencia <b>b. Términos de las respuestas</b> Indicadores de materiales y energía, indicadores de infraestructura y transporte, aire, suelo, flora, impacto medioambiental, área, agua entre otros

Para la conceptualización de la ontología; se realizaron búsquedas de los diferentes conceptos del dominio, preferentemente en las Normas ISO, legislaciones ambientales y documentos válidos para referenciar.

*OntoEnvironmental* es una ontología de dominio que modela el conocimiento ambiental de indicadores y características ambientales para proyectos agropecuarios; debido a que inicialmente fue diseñada para la ENPA cuyo objeto social es este tipo de proyectos. Esta ontología agrupa los requisitos funcionales por subdominios, por lo que fue dividida en cinco módulos: (1) proyecto agrícola, (2) proyecto pecuario, (3) indicador de comportamiento medioambiental, (4) indicador de gestión medioambiental, (5) indicador de situación medioambiental. Esta investigación se centra en los tres últimos módulos de la ontología que inciden directamente en la gestión del conocimiento ambiental empresarial como se muestra en la Figura 1.



**Fig. 1.** Fragmento de la clase *EnvironmentalIndicator*

De acuerdo al escenario 7 de la metodología NeOn se abordaron los requisitos funcionales<sup>1</sup>, mediante la reutilización de los Patrones de Diseño Ontológico (*ODPs*, por sus siglas en inglés) los cuales constituyen una manera de ayudar a los desarrolladores en el modelado de ontologías realizadas en *OWL* y son consideradas como un modo de aplicar buenas prácticas. El uso de los *ODPs* brindan a los desarrolladores tres beneficios principales: (1) reutilización, (2) guía y (3) comunicación [10]. En el desarrollo de los subdominios de indicadores ambientales de la ontología *OntoEnvironmental* se reutilizaron los siguientes patrones:

- Competencia (en inglés, *Componency*)
- Criterio (en inglés, *Criterion*)
- Situación (en inglés, *Situation*)

En la Tabla 2 se representa la correspondencia entre los requisitos y los patrones reutilizados.

**Tabla 2.** Correspondencia entre los requisitos y los patrones reutilizados

Requisitos funcionales	Patrones posibles
¿De qué elementos se compone el Medio Ambiente?	“ <i>Componency</i> ”
¿Qué determina al suelo?	“ <i>Situation</i> ”
¿Qué criterio es aplicado al comportamiento medioambiental?	“ <i>Criterion</i> ”

A continuación se evidencia como se utilizó el patrón *Criterion* con el propósito de conocer cuál es el criterio aplicado a la clase comportamiento medioambiental (*class:EnvironmentalPerformance*). La aplicación del patrón se muestra en la Figura 2.

<sup>1</sup> En la ingeniería ontológica preguntas de competencia

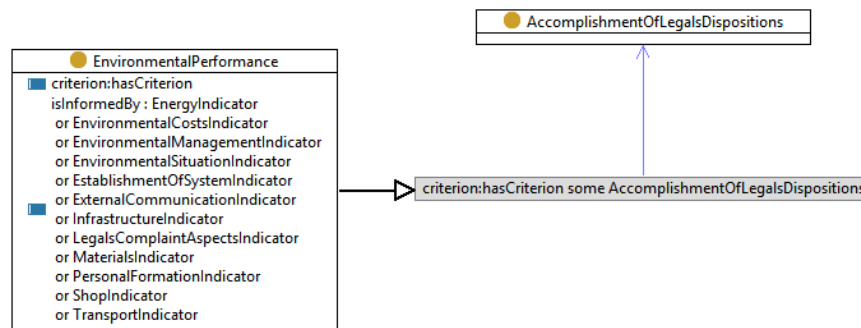


Fig. 2. Reutilización del patrón *Criterion* aplicado a la clase *EnvironmentalPerformance*

### 2.1 Evaluación de calidad de *OntoEnvironmental*

La evaluación de calidad de *OntoEnvironmental* se llevó a cabo empleando la herramienta de desarrollo de ontologías *Protégé* y la aplicación web *OOPS!*<sup>2</sup> que ayuda a detectar malas prácticas en el diseño de ontologías, que podrían provocar errores en el modelado de las mismas [11].

#### Fase 1. Uso correcto del lenguaje

Para evaluar el uso correcto del lenguaje de la ontología, se utilizó el marco de prueba que provee el editor para el diseño de ontologías *Protégé*. Los resultados arrojados no presentaron errores en el uso del lenguaje, por lo que se puede decir que la ontología cumple con los estándares para el desarrollo de ontologías con OWL RDF.

#### Fase 2. Exactitud de la estructura taxonómica

Se evaluó la ontología, mediante el empleo de *OOPS!*, proceso que se realizó periódicamente, puesto que la herramienta se basa en las buenas prácticas de diseño de ontologías, lo que ayudó en el modelado de *OntoEnvironmental*. Esta herramienta en ocasiones detectó que existían clases y propiedades a las cuales faltaban las propiedades de anotación, así como propiedades inversas incorrectas y clases de la ontología que no estaban conectadas. Estas clases de propiedades mejoran el entendimiento de la ontología y la usabilidad desde el punto de vista del usuario. Todas las propiedades de anotaciones fueron añadidas a las clases y relaciones correspondientes; por lo que se considera que la ontología *OntoEnvironmental* no presenta errores en las propiedades de anotaciones.

#### Fase 3. Validez del vocabulario

En la ontología *OntoEnvironmental* no fueron identificados términos incorrectos debido a que *OntoEnvironmental* se basa en las normas (NC-ISO:14000) y documentos legales que rigen la gestión medioambiental a nivel internacional.

<sup>2</sup> Ontology Pitfall Scanner! (<http://www.oeg-upm.net/oops>)

#### Fase 4. Adecuación a los requerimientos

En el escenario 1 de la metodología NeOn se elaboró el DERO, donde se exponen todas las especificaciones para el desarrollo de la ontología. Además incluye las preguntas de competencia, las cuales serán utilizadas como pruebas para validar los requerimientos. La ontología OntoEnvironmental cumple las especificaciones del documento de especificación de requisitos y las respuestas proporcionadas por la ontología a las preguntas de competencia son correctas.

### 3 Tecnologías Semánticas para la implementación de la arquitectura

Para la modelación de ontologías es necesario de tecnologías y tendencias actuales las cuales fueron seleccionadas mediante técnicas de *benchmarking* cuyos resultados finales se muestran en la Tabla 3. A continuación se describirán las principales tendencias utilizadas en la implementación de la arquitectura propuesta.

**Tabla 3.** Herramientas, lenguajes y metodología para el desarrollo de la arquitectura basada en la ontología *OntoEnvironmental*

Lenguaje de ontología	<i>OWL DL</i>
Lenguaje de consulta	<i>SPARQL</i>
Editor ontológico	<i>Protégé y TopBraid Composer</i>
Razonador de ontología	<i>Pellet</i>
Framework para el trabajo con ontología	<i>Jena y OWL-API</i>
Metodología de desarrollo	<i>NeOn</i>

Los lenguajes de ontología se usan para representar explícitamente el significado de los términos a través de los vocabularios y las relaciones entre estos. Entre los lenguajes más utilizados para la construcción de ontología se encuentra *OWL* el cual proporciona tres sublenguajes (*OWL Lite*, *OWL DL* y *OWL Full*), cada uno con nivel de expresividad mayor que el anterior, diseñados para ser usados por comunidades específicas de desarrolladores y usuarios [12]. *OWL DL* está construido sobre la base de lenguajes de representación de conocimiento basados en la lógica descriptiva. Este lenguaje está destinado a aquellos usuarios que requieren máxima expresividad pero garantizando completitud computacional (posibilidad de llegar a conclusiones basadas en la información existente) e inferencia en tiempo finito [13].

El lenguaje de consulta para *RDF* (*SPARQL*), define la sintaxis y la semántica necesaria para una expresión de consulta sobre un grafo *RDF* y las diferentes formas de resultados obtenidos. Su misión es devolver todas las tripletas o componentes solicitados en base a la comparación de una tripleta pasada como parámetro de la consulta (grafo básico) con todas las tripletas que componen el grafo *RDF* [14-16].

Los razonadores, chequean la consistencia de la ontología, según el conjunto de reglas definidas en las diferentes clases. Reclasifican los conceptos en la jerarquía de

clases inferida y clasifican las instancias en la clase correspondiente. *Pellet* es un razonador de lógica descriptiva, dirigido al trabajo con *OWL-DL*; y construido en Java. Este razonador soporta toda la expresividad de la lógica descriptiva detrás de *OWL-DL*, incluye el razonamiento con nominales (clases definidas por extensión). Estas características unidas a la dirección principal de trabajo con *OWL-DL* que es el lenguaje de implementación de la ontología propuesta condujeron a seleccionar este razonador [17].

*Jena*, es una biblioteca para el desarrollo de aplicaciones para la Web Semántica, en el lenguaje de programación Java, proporciona a los desarrolladores un API para el tratamiento de los grafos *RDF*. Estos grafos son representados internamente como un modelo abstracto que se puede consultar mediante el lenguaje *SPARQL*. Permite el tratamiento del lenguaje *OWL*, al utilizar el modelo semántico de *RDF*, y permite que los razonadores de lógica descriptiva, como *Pellet* se puedan conectar de forma externa. Independientemente de la capacidad de *Jena* para conectarse con motores de inferencia externos; tiene su propio subsistema de inferencia [18]. En la presente investigación se emplea este *framework* para el manejo de las consultas *SPARQL*, las cuales permiten extraer las triplas *RDF* que se encuentran en la ontología; resultantes del proceso de búsqueda por parte de los usuarios. La obtención de conocimiento implícito a través de estas consultas se sustenta en el motor de razonamiento que posee *Jena*. Además se aprovecha su soporte para la persistencia de datos con el fin de almacenar el resultado de las consultas en ficheros *RDF*.

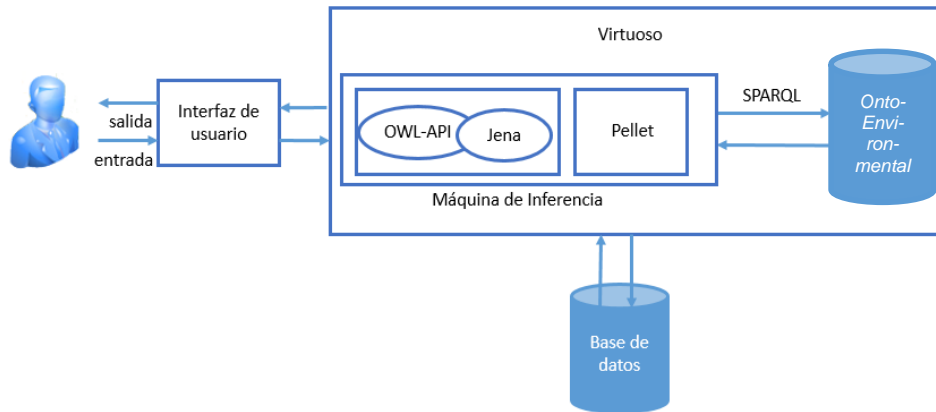
*OWL API* es la interfaz de programación en Java que permite la implementación de referencia para crear y manipular las ontologías en el lenguaje *OWL*. Posee un *API* para *OWL 2* y una eficiente memoria de implementación de referencia e interfaces para trabajar con el razonador *Pellet* [19].

*OpenLink Virtuoso* es una herramienta concebida para la integración de datos multimodelos. Es una solución para la gestión de procesos de negocio que implican *SQL*, *RDF*, *XML* y servicios web, de forma combinada. Virtuoso es un motor que une orígenes heterogéneos permitiendo seguridad, transacciones y replicación. Su motor de consulta soporta vistas heterogéneas, procedimientos almacenados y búsquedas de texto. Es capaz de acceder a orígenes externos a través de *ODBC*, así como, a su propio modelo relacional [20].

#### **4 Arquitectura de software basada en la ontología *OntoEnvironmental***

La arquitectura de software que se muestra en la Figura 3 está basada en los componentes con los que interactúa y los actores del sistema involucrados.





**Fig. 3.** Arquitectura de sistema basado en ontología

El usuario interactúa con la ontología *OntoEnvironmental* mediante los *framework* *OWL-API*, *Jena* y el razonador *Pellet*; estos constituyen la máquina de inferencia. La máquina de inferencia permitirá obtener conocimiento implícito de la ontología, para satisfacer las necesidades de información del especialista en gestión ambiental. El estándar para conexiones a la Base de Datos desde aplicaciones Java (*JDBC*) permitirá la conexión con la BD para la gestión de los usuarios del sistema.

El principal beneficio de esta arquitectura es la posibilidad de integrar en un solo modelo el proceso de inferencia, la ontología sobre la cual se hará la inferencia y la fuente de datos (BD). Además, Virtuoso ofrece la posibilidad de obtener los datos de una BD externa como un modelo *RDF*, lo cual para este contexto trae las siguientes ventajas:

- Favorece el rendimiento del proceso de consulta
- Posibilidad de inferencia de encadenamiento progresivo (*forward-chaining*)
- Permite el uso de algunas de las características de *SPARQL*, como el uso de nodos en blanco para las consultas.

A groso modo estas características permiten que las consultas que se utilicen para la ontología sirvan de base para la extracción de la información de la BD. Esta arquitectura propicia las siguientes ventajas:

- Integración de varias fuentes de información en un solo modelo
- Implementación de consultas *SPARQL* para obtener información de un modelo relacional de BD, sobre la base de triplas de una ontología.
- Desarrollo de un proceso de inferencia sobre el conocimiento de un dominio para a partir de este, obtener nuevo conocimiento, pues lo que se hacía hasta ahora era obtener el conocimiento de la ontología del dominio.

## 5 Sistema basado en ontología para la gestión de indicadores medioambientales

El sistema basado en ontología se realizó sobre la base de la arquitectura propuesta para extraer nuevo conocimiento de la ontología *OntoEnvironmental* mediante el lenguaje de consulta *SPARQL*. Además para la construcción del sistema se usó el lenguaje de programación Java para lograr una integración con los *framework* para el trabajo con ontología *Jena* y *OWL-API*, ambos programados en Java y el *framework ZK* para el diseño Web. Se usó como sistema gestor de bases de datos el *PostgreSQL* y como servidor Web el *Apache Tomcat*.

### 5.1 Funcionalidades principales del sistema

El usuario interactúa con el sistema mediante la interfaz, introduce los valores respectivos al indicador teniendo en cuenta que este debe tener predefinido su valor límite y luego realiza su cálculo. En respuesta a esta acción el sistema se encarga de comparar el valor y el valor límite del indicador; en caso de que el valor del indicador sea mayor que el valor límite el sistema detecta una alteración y recomienda los posibles impactos ambientales, las posibles causas que le dieron origen y las acciones de mitigación.

Para realizar las recomendaciones anteriores el sistema crea un grafo *RDF* que representa una relación básica entre dos elementos en forma de tripla. Esta relación representa un hecho que está dotado de significado. Al concatenar varios hechos se puede llegar a algún tipo conocimiento.

AguasResidualesContaminadas Junio2015	-----> estaAlterado	-----> true
<i>Sujeto</i>	<i>Predicado</i>	<i>Objeto</i>

Este grafo es guardado en el Virtuoso y es agregado a la ontología, luego se crea un modelo inferido de la ontología que no es más que el modelo de la ontología con los datos que se infieren con el razonador. En la Figura 4 se muestra el indicador antes de realizar el proceso de inferencia y en la Figura 5 después de la inferencia. Lo que se muestra en la parte derecha de la Figura 5 es lo que se obtuvo después del proceso de inferencia.

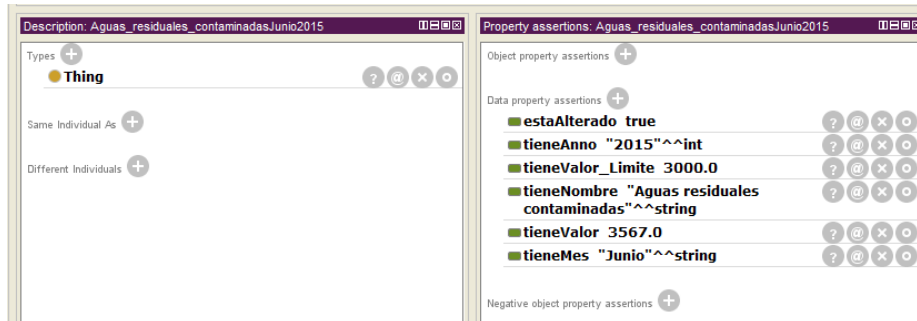


Fig. 4. Información de un indicador antes del proceso de inferencia

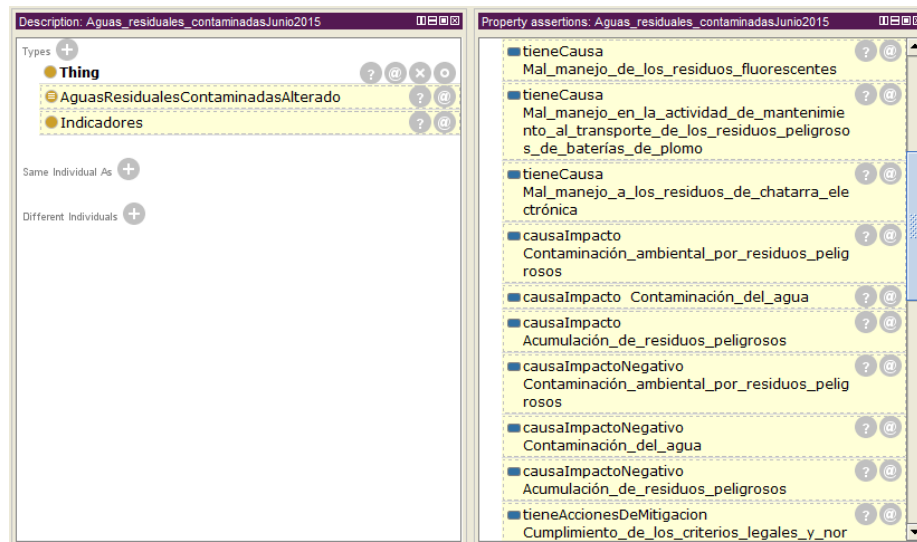


Fig. 5. Información del indicador después del proceso de inferencia

Para poder obtener estas nuevas triplas inferidas es decir los posibles impactos, posibles causas y acciones de mitigación se hacen tres consultas *SPARQL* al modelo inferido y esta información es mostrada al usuario a través de la interfaz del sistema informático propuesto.

```
select * where {oe:Aguas_residuales_contaminadas-Junio2015 oe:causaImpactoNegativo ?y }
```

```
select * where {oe:Aguas_residuales_contaminadasJunio2015
oe:tieneCausa ?y }
```

```
select * where
{oe:Aguas_residuales_contaminadasJunio2015
oe:tieneAccionDeMitigacion ?y }
```

## 6 Conclusiones

El sistema basado en la ontología *OntoEnvironmental* integra las tecnologías necesarias para gestionar el conocimiento semántico mediante una arquitectura que fue diseñada en correspondencia con las buenas prácticas de la Web Semántica. Además el uso del gestor *RDF* Virtuoso permitirá compartir y exponer los datos en *RDF*.

La correcta modelación de nuevo conocimiento en la ontología *OntoEnvironmental*; así como, la extracción del conocimiento mediante consultas *SPARQL* permite que el sistema informático desarrollado para la gestión de los indicadores ambientales recomiende al Especialista de Gestión Ambiental los posibles impactos, causas y acciones de mitigación por la alteración de un indicador lo que apoya la toma de decisiones al respecto.

Al contar con el almacenamiento histórico de los indicadores de comportamiento ambiental y las facilidades que ofrece el sistema propuesto con la generación de reportes y gráficas; favorece la toma de decisiones de la alta gerencia y facilita trazar estrategias para mejorar el desempeño ambiental de la empresa.

## 7 Trabajos futuros

Se trabaja en la predicción de valores límites de indicadores ambientales empresariales mediante redes neuronales artificiales en este sistema informático. Esto facilitaría la exactitud del sistema; debido a que el valor límite se obtendría del comportamiento del conjunto de datos es decir el almacenamiento histórico de cada indicador.

## 8 Referencias Bibliográficas

1. Pávez-Salazar, A.: 'Modelo de implantación de Gestión del Conocimiento y Tecnologías de Información para la generación de ventajas competitivas', Universidad Técnica Federico Santa María, 2000
2. Pérez, D., and Dressler, M.: 'Tecnologías de la información para la gestión del conocimiento', Intangible Capital, 2007, 3, pp. 51-59
3. Castellanos-Domínguez, M.I.: 'Procedimiento para la gestión del conocimiento ambiental mediante ontología en proyectos agropecuarios'. Tesis en opción del título académico de

- Máster en Informática para la Gestión Medioambiental, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, 2014
4. IHOBE: 'Guía de Indicadores Medioambientales para la Empresa' 1999
  5. Piorr, H.P.: 'Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators', *Agriculture, ecosystems & environment*. Elsevier, 2003, 98, (1), pp. 17-33
  6. Castellanos-Domínguez, M.I., and Grangel-González, I.: 'Las ontologías, su uso para la gestión del conocimiento medioambiental'. Proc. III Taller Internacional la Matemática, la Informática y la Física en el Siglo XXI, Holguín 2013
  7. Pollock, J.T.: 'Semantic Web for Dummies' (Publishing and Editorial for Technology Dummies, 2009)
  8. Hebel, J., Fisher, M., Blace, R., and Perez-Lopez, A.: 'Semantic web programming' (John Wiley & Sons, 2009)
  9. Suárez-Figueroa, M.d.C.: 'NeOn Methodology for building ontology networks: specification, scheduling and reuse'. Tesis en opción al título de Doctor, Universidad Politécnica de Madrid, 2010
  10. de Almeida Falbo, R., et al.: "Organizing ontology design patterns as ontology pattern languages." *Extended Semantic Web Conference*. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
  11. Poveda-Villalón, María, Asunción Gómez-Pérez, and Mari Carmen Suárez-Figueroa. "Oops! (ontology pitfall scanner!): An on-line tool for ontology evaluation." *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)* 10.2 (2014): 7-34.
  12. Fernández, H.A.F.: 'Construcción de ontologías OWL', *Vínculos*, 2013, 4, (1), pp. 19-34
  13. Matentzoglou, N., Bail, S., and Parsia, B.: 'A corpus of OWL DL ontologies', *Proc. DL*, 2013, 13, pp. 829-841
  14. Huang, J., Abadi, D.J., and Ren, K.: 'Scalable SPARQL querying of large RDF graphs', *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2011, 4, (11), pp. 1123-1134
  15. Horridge, M., and Mark M.: "Snap-SPARQL: A Java Framework for working with SPARQL and OWL." *International Experiences and Directions Workshop on OWL*. Springer International Publishing, 2015.
  16. Du Charme, B.: 'Learning SPARQL' (Published by O'Reilly Media, 2011)
  17. Tandazo, R.E.G., del Carmen Cabrera, M., and Romero, A.: 'Estudio comparativo y evaluación de razonadores para Lenguajes Ontológicos en la Web Semántica', 2012
  18. Khadilkar, V., et al. "Jena-HBase: A distributed, scalable and efficient RDF triple store." *Proceedings of the 2012th International Conference on Posters & Demonstrations Track-Volume 914*. CEUR-WS. org, 2012.
  19. Goczyla, K., et al.: "Owl api-based architectural framework for contextual knowledge bases." *Intelligent Tools for Building a Scientific Information Platform: Advanced Architectures and Solutions*. Springer (2013).
  20. Amardeilh, F., et al.: "Semi-automatic ontology maintenance in the virtuoso news monitoring system." *Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)*, 2013 European. IEEE, 2013.