

## **Ontología de evaluación de impacto ambiental para proyectos mineros**

Ariel Montes de Oca-Pérez  
Yiezenia Rosario-Ferrer

### **Resumen**

Una ontología es una herramienta que permite alcanzar un entendimiento entre las partes que participan en un conocimiento común. La ontología que se presenta comprende los conceptos fundamentales involucrados en las evaluaciones de impacto ambiental de proyectos mineros. Fue desarrollada según la metodología propuesta por la Universidad de Stanford y el editor Protégé. La ontología EIA minera es un paso inicial en la formalización del conocimiento del área de evaluación de impacto ambiental para la minería y en el desarrollo de sistemas inteligentes en esta área

**Palabras clave:** ontología; evaluación de impacto ambiental; minería; sistemas inteligentes

## **Environmental impact assessment ontology for mining projects**

### **Abstract**

Ontology is a tool that allows understanding between the parties that share a common knowledge. The presented ontology comprises fundamental concepts of environmental impact assessments performed for mining projects. This ontology was designed based on the methodology recommended by the University of Standford and Protégé editor. The Mining EIA ontology constitutes an initial step in formalizing knowledge about environmental impact assessments in the mining industry and in creating intelligent systems in this area.

**Keywords:** ontology, environmental impact assessment, mining, intelligent systems

## **1. INTRODUCCIÓN**

La actividad humana produce sobre la naturaleza un impacto, generalmente agresivo, que en muchas ocasiones la naturaleza no es capaz de asimilar, produciéndose un deterioro permanente que afecta de diversas formas a los seres vivos que comparten el entorno donde se producen estas actividades.

Para paliar estos efectos y corregirlos, en la medida de lo posible se realiza, previo a la ejecución de muchas actividades consideradas potencialmente agresivas, un estudio del impacto sobre el entorno. Estos estudios tienen como objetivo último, mantener un equilibrio entre la necesaria conservación del entorno natural y el también necesario desarrollo de la actividad humana, en lo que actualmente se ha dado por llamar "desarrollo sostenible". Desde esta perspectiva, la información entregada como resultado de un estudio de impacto ambiental debe llevar a conclusiones sobre los impactos que puede producir sobre su entorno la instalación y desarrollo de un proyecto, establecer las medidas para mitigarlos, y en general, proponer toda reducción o eliminación de su nivel de significancia.

Por consiguiente, la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un proceso jurídico-administrativo para identificar, predecir e interpretar los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, y adicionalmente, considerar medidas de valoración, prevención y corrección de estos efectos impactantes (Conesa-Fernández 1997).

Por otro lado, resulta innegable la importancia de las evaluaciones de impacto ambiental como proceso de la gestión ambiental, la cual ha sido probada a lo largo de años de aplicación. Es por ello, que han surgido herramientas informáticas que automatizan este proceso o partes esenciales del mismo.

Sin embargo, la información que manejan los distintos sistemas es muy diversa y la mayoría de las veces resulta muy complejo el intercambio de información entre los mismos. Igualmente, expertos ambientales de distintas instituciones o de diferente formación profesional (por ejemplo, mineros, geólogos, biólogos, etc.) se refieren al mismo elemento o término de manera diferente.

Por estas razones resulta de singular importancia, desde el punto de vista informático, formalizar el conocimiento referente a este tema, con el objetivo de lograr un lenguaje común, comprensible y unificado que permita un intercambio de información eficaz.

De ahí que, teniendo en cuenta las características de Moa, una zona minera, y el naciente desarrollo de sistemas inteligentes en el Instituto Superior Minero Metalúrgico (ISMMM) orientados a las evaluaciones de impacto ambiental, surge la necesidad de formalizar las evaluaciones de proyectos mineros, considerando que es la minería una de las actividades que producen un impacto importante sobre el entorno.

Ante esta realidad y su evidente necesidad de transformación se determinó, como problema de investigación, la inexistencia de una especificación formalizada del dominio de las evaluaciones de impacto ambiental para proyectos mineros, aplicable a la minería de Moa. Este tipo de problema es abordado por las ciencias de la computación con técnicas de representación del conocimiento, por lo que la utilización de ontologías pudiera ser una solución al problema.

Existen ontologías que abordan el dominio de las evaluaciones de impacto ambiental, tal es el caso de UNSPSC, ontología de procesos y servicios que contiene los procesos principales relacionados con la gestión ambiental (UNSPSC 2013). Se han desarrollado igualmente ontologías que facilitan la evaluación del desempeño ambiental de las empresas (Muñoz *et al.* 2013).

Sánchez (2008) propone un modelo jerárquico de evaluación de impacto ambiental empleando técnicas difusas, para ello desarrolla una ontología con el objetivo de representar conocimiento relacionado con el proceso de EIA, tipos de proyectos a los que debe realizárseles la EIA, metodologías de evaluación de impactos que pueden ser empleadas, los factores ambientales que pueden ser afectados y los impactos y afectaciones que provocan al medio ambiente las actividades del proyecto una vez puesto en marcha.

Igualmente, Garrido (2011) propone la Ontología para la Evaluación de Impacto Ambiental de las Actividades Humanas, estructuración de la terminología utilizada en la EIA a partir de información obtenida principalmente de normas, legislación y literatura especializada.

Sin embargo, aunque estas ontologías incluyen de manera general los conceptos fundamentales referidos a las evaluaciones de impacto ambiental y las relaciones entre ellos, no comprenden de manera detallada información acerca de las evaluaciones de impacto ambiental de proyectos mineros, en especial de la minería a cielo abierto; pero pueden ser utilizadas como punto de partida.

Por ello, se definió como objetivo de esta investigación el desarrollo de una ontología que comprenda los conceptos fundamentales involucrados en las evaluaciones de impacto ambiental de proyectos mineros en Moa.

## **2. MODELO GENERAL DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL**

El Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) es la descripción pormenorizada de las características de un proyecto de obra o actividad que se pretenda llevar a cabo, incluyendo su tecnología, y que se presenta para su aprobación en el marco del proceso de evaluación de impacto ambiental.

En Cuba existen regulaciones ambientales para toda actividad que genere deterioro al entorno. En este sentido, se ha instituido la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como uno de los niveles fundamentales de la gestión ambiental y se ha promulgado la Ley 81 del Medio Ambiente (1997), que establece la obligación de minimizar o mitigar los efectos negativos al medio ambiente.

El proceso de EIA recorre varias fases que sucintamente se exponen a continuación:

- Análisis del proyecto y sus alternativas.
- Definición del entorno del proyecto, se delimita espacialmente la porción del medio ambiente afectada por el proyecto.
- Identificación de las actividades potencialmente impactantes del proyecto y los factores ambientales a los que afectan.
- Identificación de los impactos que las acciones pueden provocar en los distintos factores ambientales.
- Caracterización de cada impacto mediante la estimación de su importancia (valoración cualitativa) y su magnitud (valoración cuantitativa).
- Estimación de la variación de la calidad ambiental del entorno y por tanto cuál es el valor del impacto total producido por el proyecto.
- Definición de las medidas correctoras a fin de disminuir el impacto del proyecto.

## **3. ONTOLOGÍA**

Una ontología constituye una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida (Gruber 1993). En esta definición, convertida ya en estándar, *conceptualización* se refiere a un modelo

abstracto de algún fenómeno del mundo del que se identifican los conceptos que son relevantes; lo *explícito* hace referencia a la necesidad de especificar de forma consciente los distintos conceptos que conforman una ontología y las restricciones sobre ellos; lo *formal* indica que la especificación debe representarse por medio de un lenguaje de representación formalizado y lo *compartido* refleja que la ontología debe capturar conocimiento consensual aceptado por una comunidad, como mínimo, por el grupo de personas que deben usarla.

Las ontologías, como forma de representación del conocimiento, ofrecen numerosas ventajas sobre otras técnicas, pues permiten compartir fácilmente la información entre diferentes personas o agentes de software, reutilizar el conocimiento, realizar afirmaciones explícitas sobre el dominio, separar el conocimiento declarativo sobre el dominio del conocimiento operacional, analizar el dominio y extraer conocimiento (Noy & McGuinness 2001).

El desarrollo de una ontología es un proceso altamente complejo por lo que los grupos que llevan adelante desarrollos ontológicos siguen sus propios principios, criterios, reglas o métodos, muchas veces dependiendo del tipo de ontología a desarrollar o de una situación particular.

La literatura especializada ofrece varios métodos y metodologías para el desarrollo de ontologías, entre los que podemos mencionar los esquemas metodológicos propuestos por Uschold & Gruninger (1996) y Uschold (1996); Fernández *et al.* (1999); Fernández-López (1999), el método propuesto por Wang & Xu (2000), la guía para crear ontologías presentada por Noy & McGuinness (2001), de la Universidad de Stanford, entre otros. Estos autores coinciden en que es un proceso necesariamente interactivo, en el cual cada versión debe ser sometida a un proceso de evaluación y depuración.

Otro aspecto importante es que existe un gran número de editores disponibles para apoyar el proceso de diseño. Algunos de los más utilizados son OntoBuilder, OILed, Ontolingua y Protégé (Noy & McGuinness 2001; DIMUS 2013).

Para el desarrollo de esta investigación fue utilizada la guía para el desarrollo de ontologías propuesta por la división de Informática Médica de la Universidad de Stanford (Noy & McGuinness 2001) de conjunto con la herramienta informática Protégé. Este método fue escogido por su flexibilidad y comprende siete pasos fundamentales:

- Determinar el dominio y alcance de la ontología
- Considerar reutilizar ontologías existentes
- Enumerar términos importantes en la ontología
- Definir clases y jerarquías de clases
- Definir propiedades de las clases
- Definir las características de las propiedades de las clases
- Crear instancias.

### **3.1. Diseño conceptual de la ontología**

La ontología EIA minera representa el conocimiento referente a la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos mineros, el objetivo principal es proporcionar un repositorio de información flexible, accesible y disponible que permita a diferentes aplicaciones recuperar este conocimiento. Esta ontología permitirá formalizar el conocimiento referido a las evaluaciones de impacto ambiental de proyectos mineros lo que favorecerá el desarrollo de sistemas inteligentes en esta área.

Para facilitar la determinación del ámbito de la ontología fueron elaboradas un conjunto de preguntas de competencias para establecer sus límites. Las siguientes cuestiones, entre otras, sirvieron como preguntas de competencia:

1. ¿El proyecto P qué factores ambientales impacta?
2. ¿Qué actividades se realizan en el proyecto P?
3. ¿Qué factores ambientales son afectados por la acción Ac?
4. ¿Qué impacto provoca la acción Ac?
5. ¿Qué acción(es) provoca el impacto I?

En una primera etapa fueron identificados los elementos principales del ámbito de la ontología, lo que permitió la creación de la jerarquía de conceptos y la definición de las propiedades de estos.

Los elementos de información principales son los siguientes:

- los factores ambientales,
- las actividades y acciones de los proyectos mineros,
- los impactos ocasionados por estas acciones en los factores ambientales y
- las medidas de mitigación, que se utilizarán para corregir los impactos ambientales.

Unido a los términos mencionados anteriormente, existen otros términos importantes:

- *Indicador ambiental*: variable que permite medir el estado del factor ambiental. Las unidades de medida de cada indicador están determinadas por el propio indicador, por lo que cada factor será medido en unidades diferentes; consecuentemente, no pueden realizarse comparaciones entre dos factores tomando como base sus indicadores.
- *Importancia del impacto*: medida cualitativa del impacto ambiental, se obtiene a partir del grado de incidencia de la alteración producida y de una caracterización del efecto, utilizando variables para la valoración.
- *Magnitud del impacto*: estimación cuantitativa del efecto que este tendrá sobre el factor ambiental, es el valor que se espera tome el indicador del factor. Esta estimación la realizan expertos en el factor correspondiente.
- *Calidad ambiental*: escala común para la comparación de las magnitudes de los impactos recibidos por cada factor ambiental.

La jerarquía de los conceptos o clases que componen la ontología se realizó utilizando un enfoque de arriba a abajo (*top-down*); primeramente se definieron los conceptos más generales y posteriormente sus especializaciones.

Tabla 1. Estructura del medio ambiente

	<b>Sistemas ambientales</b>	<b>Subsistemas ambientales</b>	<b>Factores ambientales</b>
<b>Medio ambiente</b>	Medio Físico	Medio inerte	Aire Agua Suelo Clima Geología y Geomorfología
		Medio biótico	Fauna Equilibrio ecológico Flora y vegetación
		Medio perceptual	Paisaje
	Medio Socioeconómico	Medio económico	Economía Población Infraestructura Uso del Suelo
		Medio sociocultural	Patrimonio social y cultural



Un concepto general es Proyecto Minero. Los proyectos se dividen en actividades o etapas y estas, finalmente, en acciones. Otro de los conceptos generales es Medio Ambiente, que se divide en sistemas ambientales, estos, a su vez, en subsistemas ambientales, los cuales se dividen en factores ambientales.

Los factores son los que reciben los impactos ocasionados por las acciones que se desarrollan en las actividades de los proyectos mineros. Los impactos ambientales se valoran cualitativamente por medio de la importancia del impacto y cuantitativamente por medio de la magnitud del impacto. Las medidas correctoras permiten corregir o mitigar los impactos ambientales. En la Figura 1 se muestra la estructura general de la ontología.

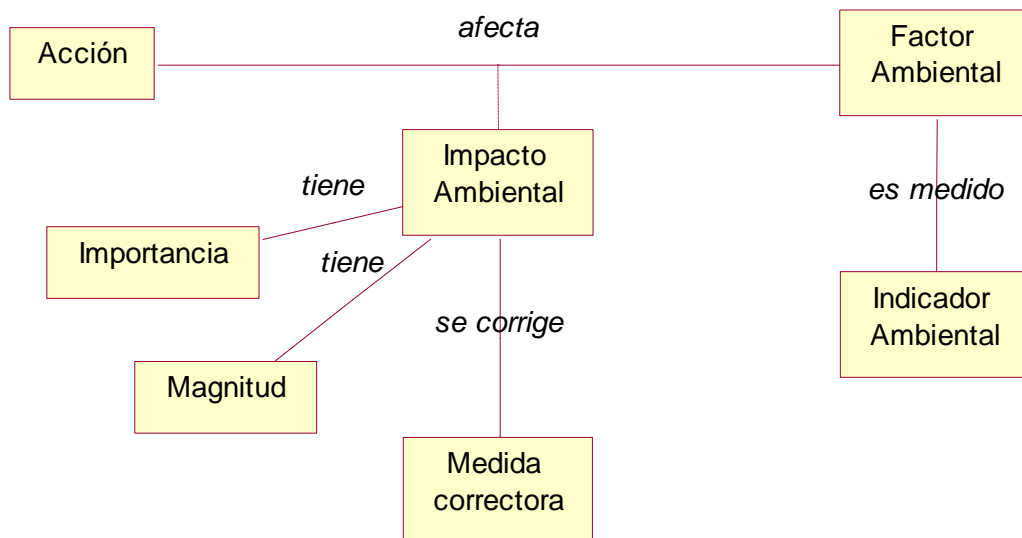


Figura 1. Jerarquía de clases de la ontología.

De igual manera, fue necesario tener en cuenta algunas restricciones que permitieran mantener la consistencia de la información representada en la ontología. A continuación se mencionan algunas de las que fueron tomadas en cuenta para el diseño que se presenta:

- Cada factor ambiental solo pertenece a un subsistema ambiental.
- Un subsistema ambiental solo pertenece a un sistema ambiental.
- Todos los sistemas ambientales pertenecen al medio ambiente.
- El indicador ambiental utilizado para medir la magnitud de un impacto ambiental debe pertenecer al conjunto de indicadores

ambientales utilizados para medir la calidad ambiental del factor ambiental.

### 3.2. Creación de instancias

El último paso en la construcción de la ontología es crear los individuos de las clases de la jerarquía. Fueron definidos elementos para las clases: Actividad y Acción, relativas a los proyectos mineros (Figura 2 y 3), Sistema ambiental, Subsistema ambiental y Factor ambiental, relativas al Medio Ambiente, como se muestra en la Tabla 1.

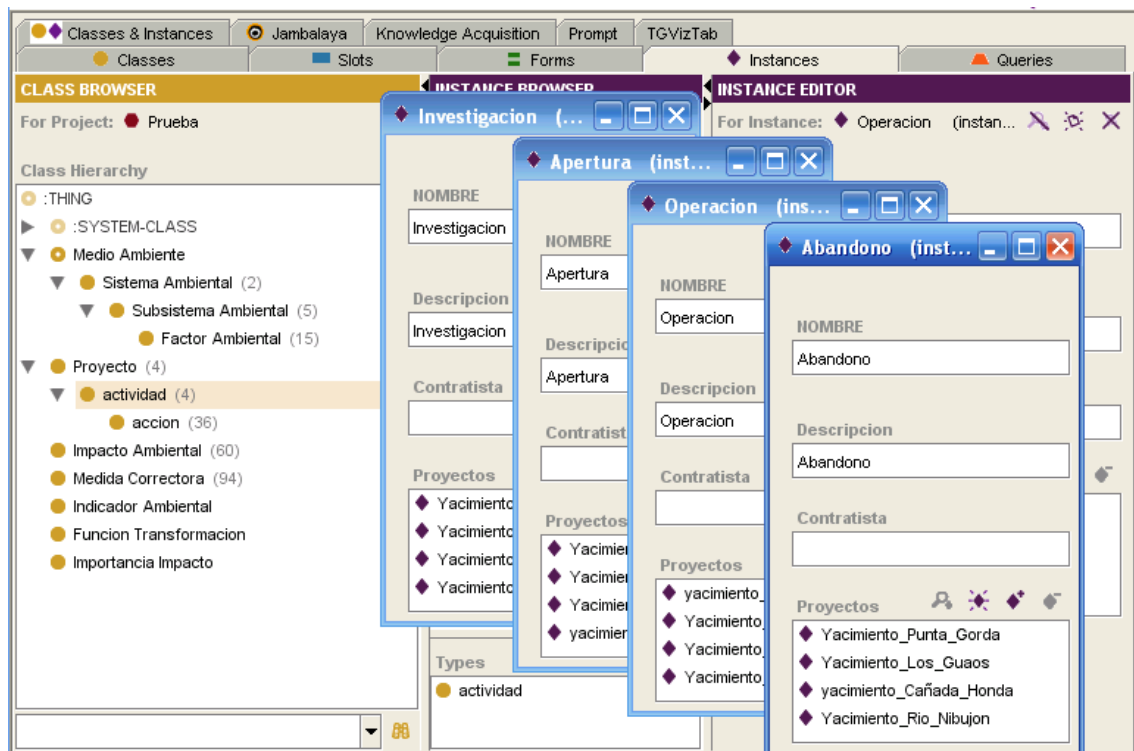


Figura 2. Instancias de la clase Actividad.

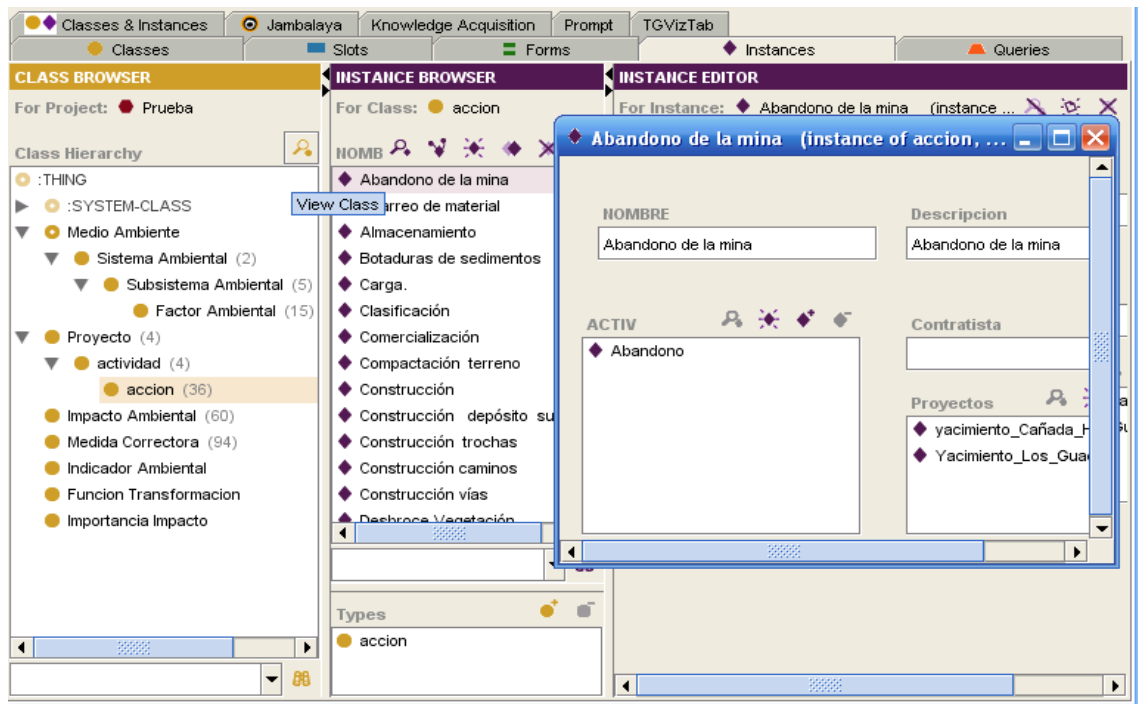


Figura 3. Instancias de la clase Acción.

La ontología se implementó utilizando la herramienta Protégé, la cual es un entorno integrado para el desarrollo de sistemas basados en el conocimiento desarrollado por la división de Informática Médica de la Universidad de Stanford (DIMUS 2013).

Utilizando Protégé fueron creadas, de igual modo, las instancias de las clases Impacto Ambiental, Indicador Ambiental y Medida Correctora.

Asimismo, en la ontología que se presenta se incluyen ejemplos de proyectos mineros a los que fueron realizados evaluaciones de impacto ambiental, tales como los proyectos Yacimiento Punta Gorda, Yacimiento Los Guaos, Yacimiento Cañada Honda, Yacimiento Río Nibujón.

En la figura 4 se muestra un extracto de la jerarquía de acciones del proyecto Yacimiento Punta Gorda. La Figura 5 indica cómo se relacionan el impacto y el indicador ambientales

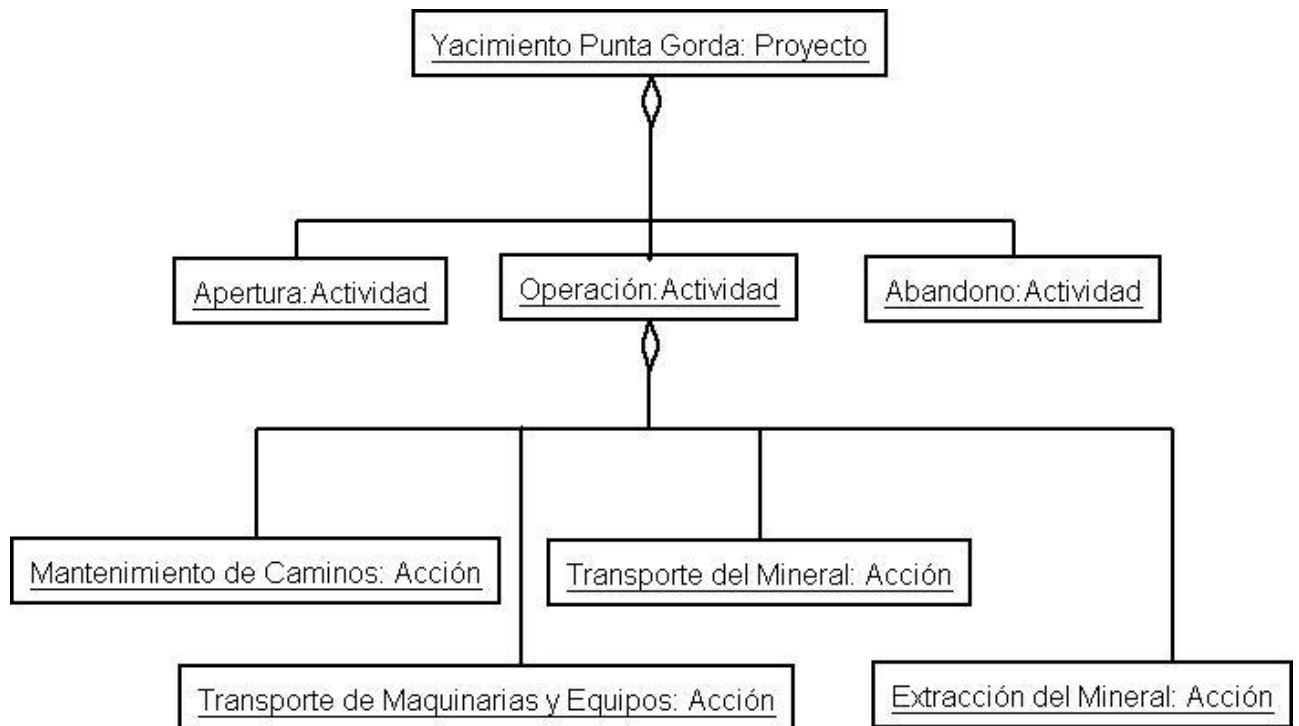


Figura 4. Jerarquía de acciones del proyecto Yacimiento Punta Gorda.



Figura 5. Relación del impacto ambiental y el indicador ambiental.

#### 4. CONCLUSIONES

En el contexto actual la evaluación de impacto ambiental se entiende como un proceso de análisis que anticipa los futuros impactos ambientales negativos y positivos de acciones humanas permitiendo seleccionar las alternativas que, al cumplir los objetivos propuestos, maximicen los beneficios y disminuyan los impactos no deseados.

Como resultado de esta investigación se realizó el diseño de una ontología de Evaluación de Impacto Ambiental para proyectos mineros que constituye una herramienta de apoyo a los expertos ambientales pues establece un lenguaje común que permite el intercambio eficaz de información.

La ontología, además, permitirá a los expertos configurar la información inicial para estudios de evaluación de impacto ambiental en proyectos mineros, así como identificar cuáles son las posibles

afectaciones que se provocarán sobre el medio ambiente y las medidas que deben ser tomadas para mitigarlas.

## 5. REFERENCIAS

- CUBA. 1997: Ley 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Edición extraordinaria, La Habana, 11 de julio, año XCV, No. 7, p. 47.
- CONESA-FERNÁNDEZ, V. 1997: Guía *Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental*. 3<sup>ra</sup> edición. Mundi-Prensa, Madrid.
- DIVISIÓN DE INFORMÁTICA MÉDICA DE LA UNIVERSIDAD DE STANFORD (DIMUS). 2013: Protégé. Disponible en: <http://protege.stanford.edu>.
- MUÑOZ, E.; CAPÓN-GARCÍA, E.; LAÍNEZ, J. M.; ESPUÑA, A. & PUIGJANER, L. 2013: Considering environmental assessment in an ontological framework for enterprise sustainability. *Journal of Cleaner Production* 47(May): 149-164. ISSN 0959-6526. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.032>.
- FERNÁNDEZ, M.; GÓMEZ-PÉREZ, A. & PAZOS, J. 1999: Building a chemical ontology using methontology and the ontology design environment. *IEEE Intelligent Systems*. January/February.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. 1999: Overview of methodology for building ontologies. Laboratorio de Inteligencia Artificial. Universidad politécnica de Madrid. Madrid. España. Disponible en: <http://www.lsi.upc.es/~bejar/aia/aia-web/4-fernandez.pdf>
- GARRIDO SÁNCHEZ, J. 2011: Ontologías para la evaluación de Impacto Ambiental de las actividades humanas. Tesis doctoral. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad de Granada, E.T.S de Ingeniería Informática y de Telecomunicación. 252 p.
- GRUBER, T. 1993: A traslation approach to portable ontology specification. *Knowledge Acquisition* 5.
- NOY, N. & MCGUINNESS, D. 2001: Ontology development 101: A Guide to creating your first ontology. Stanford University. Stanford knowledge Systems Laboratory Technical Report.
- SÁNCHEZ MUÑOZ, D. 2008: Modelo Jerárquico de Evaluación de Impacto Ambiental empleando Técnicas Difusas. Tesis doctoral. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad de Granada, E.T.S de Ingeniería Informática. 236 p
- USCHOLD, M. & GRUNINGER, M. 1996: Ontologies: Principles, Methods and Applications. AIAI-TR-191. Disponible en: <http://citeseer.nj.nec.com/uschold96ontologie.html>
- USCHOLD, M. 1996: Ontologies: Towards a unified methodology. AIAI-TR-197. Disponible en <http://citeseer.nj.nec.com/uschold96building.html>
- UNSPSC. 2013: Disponible en: <http://www.unspsc.org>.
- WANG, N. & XU, X. 2000: A method to build ontology. En: High Performance Computing in the Asia-Pacific Region 2000

Proceedings, The Fourth International Conference. May, vol. 2, p. 672-673.

Ariel Montes de Oca-Pérez [amontesp@ismm.edu.cu](mailto:amontesp@ismm.edu.cu)  
Ingeniero informático. Departamento de Informática.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba

Yiezenia Rosario-Ferrer [jessie@ismm.edu.cu](mailto:jessie@ismm.edu.cu)  
Doctora en Ciencias Informáticas. Profesora Auxiliar.  
Departamento de Informática.  
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba