

SISTEMA EXPERTO PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO DE RECUPERACIÓN EN CANTERAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Dr.C. Yiezenia Rosario Ferrer

Profesor Titular. Departamento de Informática, Facultad de Administración Pública y Empresarial, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Av. Calixto García No. 15 e/ Av. 7 de diciembre y Reynaldo Laffita, Reparto Caribe.

Email: jessie@ismm.edu.cu

Ing. Katusca Jiménez Roché

Instructor. Departamento de Informática, Facultad de Administración Pública y Empresarial, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Av. Calixto García No. 15 e/ Av. 7 de diciembre y Reynaldo Laffita, Reparto Caribe.

Email: kjimenez@ismm.edu.cu

RESUMEN

El aumento de la capacidad humana de transformar el entorno natural ha originado un desequilibrio entre el deterioro ocasionado y la capacidad de recuperación del medio. La extracción de materiales de la construcción es imprescindible en la obtención de recursos para el desarrollo constructivo del país, lo que obliga a solucionar los problemas de la demanda de materias primas en equilibrio con la conservación de la naturaleza. A fin de favorecer la planeación de la recuperación, se propone el desarrollo de un sistema experto de apoyo en la selección del tipo de recuperación en áreas dañadas por la minería en canteras de materiales de la construcción. El sistema fue realizado siguiendo la metodología IDEAL y la integración de las herramientas CLIPS y Java. El sistema experto resultante facilita la introducción de la dimensión ambiental en los proyectos mineros de explotación de materiales de la construcción para contribuir al logro de una minería responsable.

Palabras clave: metodología IDEAL, recuperación de áreas minadas, sistema de producción, sistema experto

EXPERT SYSTEM TO SELECT THE REHABILITATION METHOD IN BUILDING MATERIALS QUARRIES

Abstract

The increased human capacity to transform the environment has caused a disproportion between the damages caused and environmental resilience. The extraction of building

materials is essential to obtain resources for the development of the country, for that reason it must troubleshoot the commodity demand in balance with nature conservation. To promote recovery planning, it is proposed the development of an expert system to decision making support to select the appropriate type of mining rehabilitation in building materials quarries areas. The system was made following the IDEAL methodology and integrating CLIPS and Java tools. The resulting expert system facilitates the introduction of the environmental dimension in the building materials mining exploitation projects to contribute to responsible mining.

Keywords: expert system, IDEAL methodology, mining areas rehabilitation, production system

Introducción

El aumento de la capacidad humana de transformar el entorno natural ha originado un desequilibrio entre los daños ocasionados y la capacidad natural de recuperación del medio. La extracción de materiales a cielo abierto es un tipo de disturbio antrópico que afecta todos los factores del ecosistema (vegetación, fauna, suelos), las geofomas del terreno y las condiciones microclimáticas. Cuando la extracción de materiales se realiza irracionalmente, sin una planeación de la explotación, los problemas generados después del abandono de la minería son muy graves, a causa de taludes inestables, pérdida del suelo superficial, contaminación de las aguas, emisiones de polvo, entre otras (Montes de Oca, 2012).

La Ley 76 de Minas (ANPP, 1995) plantea en su artículo 41 que los concesionarios están obligados a preservar adecuadamente el medio ambiente y las condiciones ecológicas del área, elaborando estudios y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de la actividad minera, tanto en dicha área como en las áreas y ecosistemas vinculados a aquellos que puedan ser afectados. Es decir, deben recuperar el lugar alterado y retornarlo a condiciones compatibles con el entorno, o sea, reaprovechar el área para una nueva finalidad (comercial, agrícola, industrial, urbanística, recreativa, cultural).

Investigaciones realizadas en España, proponen soluciones para la rehabilitación minera en canteras de materiales de la construcción y otros tipos de yacimientos (Ferrer, 1996; Angera, 2005; Montse y Ramón, 2010; Blanco, 2011). En Cuba también se han realizado investigaciones sobre rehabilitación minera; se han

propuestas medidas técnicas y planes de recuperación de los impactos ambientales provocados por la explotación de diversas canteras de áridos para la extracción de arena y grava (Carbonell, 2003; Riverón, 2003; Aguilera, 2003; Ulloa, 2004). No obstante, son aún incipientes los resultados de los trabajos realizados, todo ello por una concepción deficiente de los planes de recuperación, el escaso respaldo financiero y la inexistencia de planes de monitoreo ambiental (Montes de Oca, 2012).

En los últimos años, se han incrementado en todo el país las construcciones para el turismo, las obras sociales e infraestructura de todo tipo. De igual manera, se ha incrementado la necesidad de la reconstrucción del fondo habitacional aumentando considerablemente la demanda de materiales de construcción. Toda esta situación contribuye a la elevación de los niveles de contaminación generados por la ejecución de explotaciones mineras. Por tal motivo, se reflexionó sobre la posibilidad de informatizar el proceso de selección de las medidas de recuperación, en un sistema que incluya las mejores prácticas y el conocimiento acumulado en el tema. Es por ello, que se define como objetivo del presente trabajo desarrollar un sistema experto de apoyo a la toma de decisiones en la selección del tipo de recuperación más adecuado en áreas dañadas por la minería en canteras de materiales de la construcción.

Los sistemas expertos constituyen uno de los éxitos comerciales más importantes de la Inteligencia Artificial y representan la avanzada en el paso del laboratorio académico al ambiente productivo. Han sido utilizados en diferentes áreas como las transacciones bancarias, el mercado de valores, el diagnóstico médico, el control de tráfico, el monitoreo de sistemas, entre otros (Armero et al., 2011; Stoia, 2013; Bugarski et al., 2013; Wicht et al., 2013). Sin embargo, a pesar del desarrollo alcanzado, la creación y desarrollo de sistemas expertos en áreas relacionadas con la explotación minera es aún incipiente.

Materiales y métodos

El concepto de Sistema Experto (SE) fue introducido por Feigenbaum como consecuencia de la experiencia del proyecto DENDRAL (Lindsay, et al. 1993). Su surgimiento estuvo vinculado al cambio de concepción ocurrido a finales de la

década del 1960 con el énfasis dado a los sistemas de razonamiento de propósito específico. El conocimiento propio de un dominio de aplicación pasó a ser más importante que el método de solución de problemas empleado.

Estos son programas que tratan de imitar las funciones de un experto humano en un dominio o área específica del conocimiento. Resuelven problemas de forma “inteligente” y son capaces de explicar y justificar sus respuestas, por lo que pueden actuar como asistentes en los procesos de toma de decisión (Bello, et al. 2002).

La aplicación de estos sistemas ha reportado numerosas ventajas, tales como: permanencia del conocimiento, reproducibilidad, eficiencia, el conocimiento de múltiples expertos puede ser combinado, permiten la resolución de problemas complejos que no tienen una solución específica y adecuada (Bello, et al. 2002).

La mayoría de los sistemas expertos tienen como componentes básicos: la base de conocimientos, el motor de inferencia, la memoria de trabajo o base de hechos y la interfaz de usuario, otros tienen un módulo de explicación y un módulo de adquisición del conocimiento (Bello, et al. 2002), como se muestra en la figura 1.

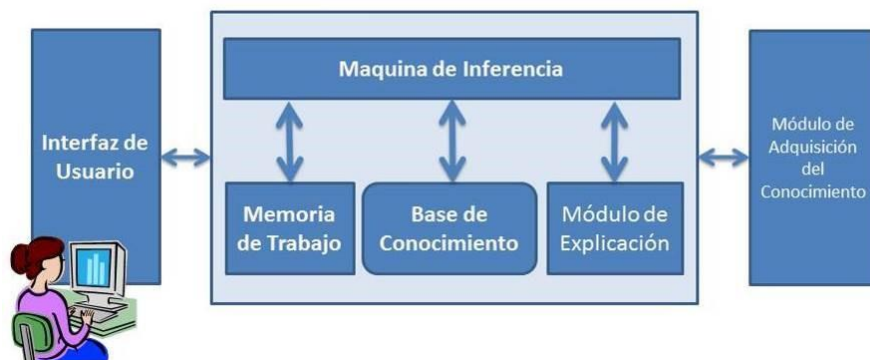


Figura 1. Arquitectura básica de un sistema experto. Adaptado de (Bello, et al., 2002)

Existen varias metodologías y métodos que dan las pautas a los ingenieros de conocimientos de cómo desarrollar sistemas expertos. Se decide emplear en esta investigación la metodología IDEAL (Gómez, et al. 1997; Alonso, et al. 2004), pues propone un ciclo de vida en espiral cónico en tres dimensiones, en donde cada fase del ciclo finaliza con el desarrollo de un prototipo. Igualmente, permite la evaluación de las soluciones de conjunto con los usuarios del sistema y tiene etapas dedicadas al despliegue de la solución.

Resultados

El sistema se fundamenta en el procedimiento para recuperar las áreas degradadas en canteras de materiales de la construcción, mostrado en la figura 2, que ha sido utilizado en canteras de la provincia de Santiago de Cuba (Montes de Oca, 2012), el cual permite definir el "tipo de recuperación" a aplicar a cada unidad del espacio dañado de la cantera.

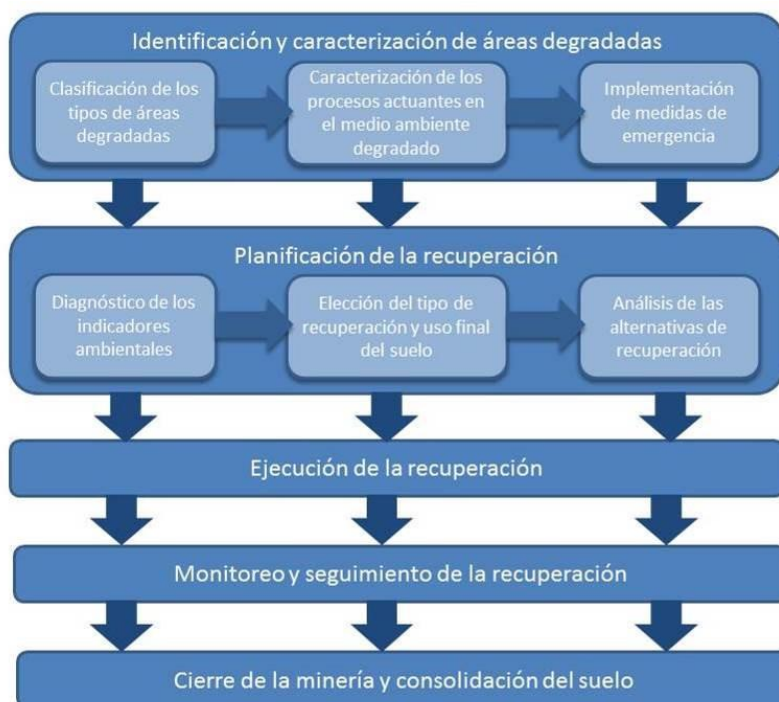


Figura 2. Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas por la minería en canteras de materiales de la construcción. Adaptado de (Montes de Oca, 2012)

El desarrollo de los prototipos del sistema se realizó siguiendo la secuencia de acciones que se muestran en la figura 3.

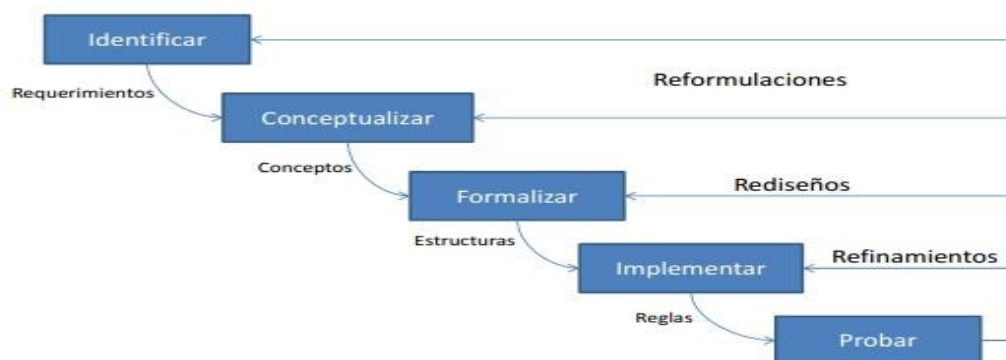


Figura 3. Pasos para el desarrollo del prototipo de sistema experto. Adaptado de (Bello et al., 2002)

En las primeras reuniones con el experto en el área de conocimiento “Rehabilitación minera” se determinaron los requisitos funcionales del sistema, los cuales son:

- R.1. Clasificar los tipos de áreas degradadas.
- R.2. Identificar los impactos provocados en el área.
- R.3. Determinar las medidas correctoras según impactos.
- R.4. Recomendar el tipo de recuperación.
- R.5. Justificar las respuestas.

La etapa de conceptualización permitió un entendimiento del dominio del problema, de la terminología usada y la modelización de la tarea que realiza el experto para resolver el problema. Como resultado fueron obtenidos un glosario de términos, la relación concepto-atributo-valor y el mapa de conocimiento del dominio (figura 4).



Figura 4. Mapa de conocimientos

Resultaron relevantes durante la conceptualización del dominio, las relaciones de causalidad entre varios valores de atributos de conceptos; lo cual permitió definir las reglas de producción como forma de representación del conocimiento.

La implementación del sistema incluyó una primera etapa para la selección de las herramientas. Estas fueron evaluadas tomando en consideración los siguientes aspectos: formas para la representación y organización del conocimiento, algoritmo usado por el motor de inferencia, método de solución de problemas ofrecido, portabilidad, así como la licencia bajo la cual son distribuidas. Fueron evaluadas las

herramientas CLIPS (<http://www.ghg.net/clips/>), JESS (<http://www.jessrules.com/>) y Drools (<http://www.drools.org/>).

Aunque en los aspectos básicos las tres herramientas tienen características similares, para la implementación del sistema experto se utilizó CLIPS 6.22 (<http://www.ghg.net/clips/>), una herramienta para el desarrollo de sistemas expertos que ofrece un entorno completo para la construcción de sistemas basados en reglas. Fue seleccionado Java (<http://java.sun.com/j2se>) y el entorno de desarrollo integrado Netbeans 7.0 (<http://www.netbeans.org>) para el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario. Se utilizó además, la biblioteca jClips (Menken, 2005) para la integración de CLIPS con Java.

Como resultado del proceso de desarrollo descrito se obtuvo RMin v1.0 (figura 5), un sistema experto basado en reglas para informatizar la selección del tipo de recuperación en áreas dañadas por la minería en canteras de materiales de la construcción. El sistema permite clasificar las áreas degradadas a partir de las características de las unidades de espacio de la cantera, identificar los impactos ambientales provocados por la explotación minera en cada área. Además, propone las medidas que pueden aplicarse para minimizar los impactos causados y recomienda el tipo de recuperación que debe aplicarse, así como los posibles usos futuros del terreno (figura 6).

RMin v1.0 es un sistema flexible, amigable, cuya entrada de datos es fácil de interpretar y ejecutar; además brinda explicaciones finales de cómo se llega a un determinado estado solución, permitiendo que personas con poca experiencia en la minería puedan utilizarlo.

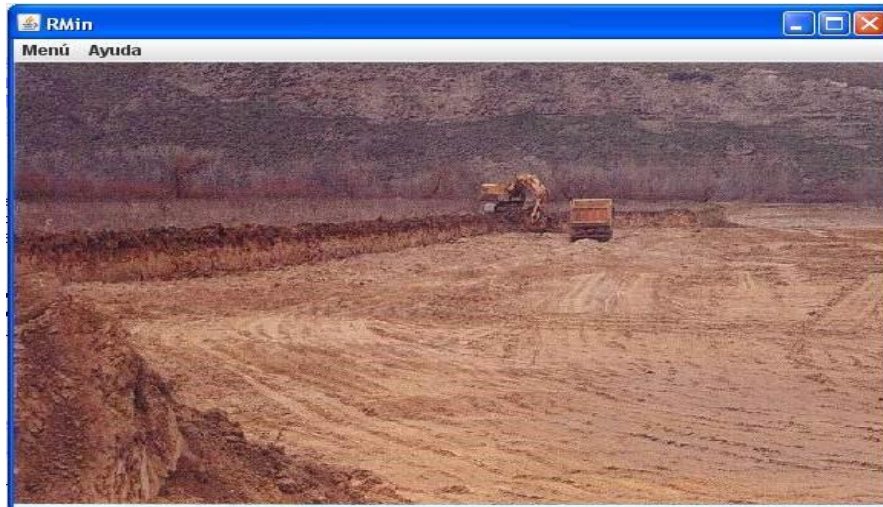


Figura 5. Interfaz principal

The dialog box is titled 'Tipo de recuperación'. It contains a section 'ASPECTOS QUE SE ENCUENTRAN EN EL TERRENO' with several dropdown menus: 'Pendientes' (Suaves), 'Suelo fértil bien reconstituido' (No), 'Accesos' (Sí), 'Proximidad a núcleos urbanos' (Sí), 'Medidas de seguridad para los usuarios' (Sí), 'Buen acondicionamiento de la excavación' (Sí), 'Infraestructuras' (Sí), and 'Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado' (Sí). Below these are text boxes for 'Tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad del agua y características del suelo' and 'El tipo de uso es Urbanístico e Industrial o Vertederos de Sólidos'. There are also buttons for 'Tipo de recuperación', 'Explicación', 'Limpiar', and 'Salir'. A scrollable text area shows the explanation: 'Si el terreno tiene medidas de seguridad para los usuarios, buen acondicionamiento de la'.

Figura 6. Interfaz para la selección del tipo de recuperación

Conclusiones

El sistema experto desarrollado constituye una herramienta de apoyo en la selección del tipo de recuperación que debe aplicarse en áreas dañadas por la minería en canteras de materiales para la construcción. Este sistema considera las características del terreno, el tipo de explotación y las acciones realizadas durante la explotación.

El proceso de desarrollo permitió identificar las tareas fundamentales relacionadas con la recuperación ambiental de canteras de materiales de la construcción. La identificación y análisis de los conceptos básicos de este dominio y sus relaciones, favoreció su formalización como reglas de producción y la implementación del sistema experto utilizando CLIPS y Java.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el proyecto PU1244 del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Referencias

- AGUILERA, Idania. Estudio del impacto ambiental ocasionado por la explotación del yacimiento fluvial de arena y grava "Río Nibujón". Tesis de Maestría. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
- ALONSO BETANZOS, Amparo, GUIJARRO, B., LOZANO, A., PALMA, J. y TABOADA, M. Ingeniería del Conocimiento: aspectos metodológicos. España, Prentice Hall, 2004.
- ANGERA GONZÁLEZ, M. El plan de restauración de una cantera de caliza. Valencia, Departamento de explotación de recursos minerales y obras subterráneas de Valencia, 2005.
- ARMERO, Carmen, ARTACHO, Alejandro, LÓPEZ-QUÍLEZ, Antonio y VERDEJO, Francisco. A probabilistic expert system for predicting the risk of Legionella in evaporative installations. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38 (6): p. 6637-6643.
- ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR (ANPP). Ley 76 "Ley de Minas". Gaceta Oficial de la República de Cuba, 1995.
- BELLO PÉREZ, Rafael Esteban, GARCÍA VALDIVIA, Zoila Zenaida, GARCÍA LORENZO, María M. y REYNOSO LOBATO, Antonio. Aplicaciones de la Inteligencia Artificial. México, Universidad de Guadalajara, 2002.
- BLANCO FERNÁNDEZ, D. Restauración de una cantera de áridos mediante cambios de uso: extractivo-vertedero de residuos y demolición. Tesis de Maestría. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2011.
- BUGARSKI, Vladimir, BAČKALIĆ, Todor y KUZMANOV, Uroš. Fuzzy decision support system for ship lock control. En: *Expert Systems with Applications*, 2013, 40 (10): p. 3953-3960.
- CARBONELL VEGA, F. Evaluación del impacto ambiental que se genera durante la explotación del yacimiento la Yaya y en el proceso industrial de la calera. Tesis de Maestría. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
- FERRER MODOLELL, A.E. Restauración de impactos mineros en zonas semiáridas: el ejemplo de la provincia de Granada. *Revista Geogaceta*, 1996.
- GÓMEZ, Asunción, JURISTO, Natalia, MONTES, Cesar y PAZOS, Juan. Ingeniería del conocimiento. España, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 1997.

- MENKEN, Maarten. jClips – CLIPS for Java, 2005. [Consultado el: 4 de junio de 2013].
Disponible en: <http://www.cs.vu.nl/~mrmenken/jclips>.
- MONTES DE OCA RISCO, Alexis. Recuperación de áreas minadas de canteras de materiales de construcción de Santiago de Cuba. Tesis de Maestría. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2012.
- MONTSE, Jorba y RAMÓN, V. Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2010.
- RIVERÓN MATOS, H. Propuesta de un plan para la rehabilitación de las áreas degradadas por la extracción de arena en la cuenca hidrográfica Sagua- Miguel (Sector La Plazuela). Especialidad en Gestión Ambiental para la Industria del níquel. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
- STOIA, Claudiu-Leonardo. A Study Regarding the Use of Expert Systems in Economics Field. *Procedia Economics and Finance*, 2013, 6 (0): p. 385-391.
- ULLOA CARCACÉS, Mayda. Rehabilitación de áreas en desuso del yacimiento de rocas ornamentales “Rosado del Río” provincia Granma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2004.
- WICHT, Andreas, WETTER, Thomas y KLEIN, Ulrike. A web-based system for clinical decision support and knowledge maintenance for deterioration monitoring of hematological patients. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2013, 111 (1): p. 26-32.