

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Inteligencia Artificial
Recibido: 11/04/2014 | Aceptado: 01/06/2015

Sistema experto para la elección del tipo de recuperación en canteras de materiales de construcción

Expert system to select the rehabilitation method in building materials quarries

Yiezenia Rosario Ferrer ^{1*}, Katusca Jiménez Roché ¹, Daylín Argüelles Castillo ¹, Alexis Montes de Oca Risco ¹

¹ Departamento de Informática, Facultad de Geología y Minas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Av. Calixto García No. 15 e/ Av. 7 de Diciembre y Reynaldo Laffita, Reparto Caribe. E-mail: {[jessie.kjimenez](mailto:jessie.kjimenez@ismm.edu.cu), [amontes](mailto:amontes@ismm.edu.cu)}@ismm.edu.cu

* Autor para correspondencia: jessie@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

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 geoformas 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. Estas investigaciones proponen un conjunto de acciones que pueden servir para realizar las labores de restauración de canteras de roca caliza y la revegetación de los espacios afectados por las actividades extractivas en clima mediterráneo (Angera, 2005; Montse y Ramón, 2010; Blanco, 2011), en la mayoría de los casos se propone el uso forestal para los terrenos afectados por la minería, lo que es un proceso lento y costoso (Ferrer, 1996). Otros autores proponen el uso de las canteras abandonadas, potencialmente aprovechables,

para el depósito de vertederos (García, 2008), y así restaurar la cantera dándole salida al problema social y político que plantea la ubicación de vertederos, el aumento de los residuos generados y los vertidos incontrolados.

En Cuba también se han realizado investigaciones sobre rehabilitación minera. Se ha identificado el deterioro provocado a los diferentes componentes del entorno, tales como agua, aire, la salud de las personas, entre otros (Parra, 2003). De igual manera, se han propuesto 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 después del paso de los huracanes Ike, Gustav y Sandy; 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. Ante la necesidad elaborar planes de recuperación más efectivos surge el siguiente problema de investigación: ¿Cómo favorecer la selección del tipo de recuperación más adecuada para rehabilitar las áreas dañadas por la minería en las canteras de materiales de construcción?

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 y el mercado de valores (Shue et al., 2009; Fasanghari y Montazer, 2010; Stoia, 2013), el control de tráfico (Bugarski et al., 2013), el diagnóstico médico (Armero et al., 2011; Başçiftçi y İncekara, 2011; Uzoka et al., 2011), el monitoreo de sistemas (Booty et al., 2009; Wicht et al.,

2013), en la planificación (Kaloudis et al., 2010; Larbi y Salyani, 2012), entre otros. 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 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 tomas 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).

Componentes de un Sistema Experto

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.

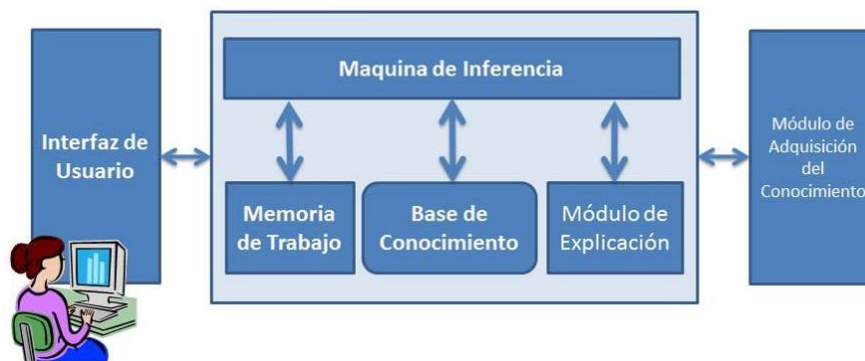


Figura 1. Arquitectura básica de un sistema experto. Adaptado de (Bello, et al., 2002)

La base de conocimientos contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento de validez general sobre el dominio en el que se trabaja. Existen diversas formas para representar el conocimiento, tales como reglas de producción, marcos, las redes semánticas, entre otras.

La memoria de trabajo o base de hechos almacena los datos recibidos inicialmente para la resolución de un problema. Contiene conocimiento sobre el caso concreto en que se trabaja. También se registrarán en ella las conclusiones intermedias y los datos generados en el proceso de inferencia. Al memorizar todos los resultados intermedios, conserva el vestigio de los razonamientos efectuados; por lo tanto, se puede utilizar para explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.

La máquina de inferencia implementa un método de solución de problemas que manipula el conocimiento almacenado en la base de conocimientos, las informaciones sobre los estados iniciales y los estados actuales de la solución del problema. Es decir, controla el proceso de razonamiento que sigue el sistema experto, su cometido principal es llegar a conclusiones aplicando el conocimiento a los datos. Las conclusiones del motor de inferencia pueden estar basadas en conocimiento determinista o conocimiento probabilístico.

La interfaz de usuario es el enlace entre el sistema experto y el usuario, permite que el usuario pueda describir el problema al sistema experto. Interpreta sus preguntas, los comandos y la información ofrecida. A la inversa, formula la información generada por el sistema incluyendo respuestas a las preguntas, explicaciones y justificaciones. Es decir, posibilita que la respuesta proporcionada por el sistema sea inteligible para el interesado.

Módulo de explicación está diseñado para aclarar al usuario la línea de razonamiento seguida en el proceso de inferencia. Esta posibilidad de explicación es especialmente valiosa cuando se tiene la necesidad de tomar decisiones importantes amparándose en el consejo del sistema experto.

El módulo de adquisición del conocimiento permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento en el sistema experto. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen.

Metodologías para el desarrollo de Sistemas Expertos

Existen varias metodologías y métodos que dan las pautas a los ingenieros de conocimientos de cómo desarrollar sistemas expertos, entre las principales metodologías utilizadas por los investigadores están las propuestas por

Buchanan, Grover, Weiss y Kulikowski y la metodología IDEAL (Gómez et al., 1997; Alonso et al., 2004). Estas metodologías estructuran el desarrollo de un sistema experto en fases desde el planteamiento del problema hasta la evaluación. En la tabla 1 se muestran las etapas y fases de las metodologías mencionadas.

Tabla 1. Metodologías para el desarrollo de sistemas expertos. Adaptado de (Alonso, et al. 2004)

Metodología de Buchanan	Metodología de Grover
Etapa 1: Familiarización con el problema y el dominio. Etapa 2: Delimitación del sistema. Etapa 3: Obtención de la estructura de inferencia del Sistema Experto. Etapa 4: Definición del Sistema Experto prototipo. Etapa 5: Depuración del sistema prototipo. Etapa 6: Optimización del Sistema Experto prototipo.	Etapa 1. Definición del dominio. Etapa 2. Formulación fundamental del conocimiento. Etapa 3. Consolidación del conocimiento basal.
Metodología de Weiss y Kulikowski	Metodología IDEAL
Etapa 1. Planteamiento del problema. Etapa 2. Encontrar expertos humanos que puedan resolver el problema. Etapa 3. Diseño de un Sistema Experto. Etapa 4. Elección de la herramienta de desarrollo. Etapa 5. Desarrollo y prueba de un prototipo. Etapa 6. Refinamiento y generalización. Etapa 7. Mantenimiento y puesta al día.	Fase 1. Identificación de la tarea. 1.1. Plan de requisitos y adquisición de conocimientos. 1.2. Evaluación y selección de la tarea. 1.3. Definiciones de las características de la tarea. Fase 2. Desarrollo de los prototipos. 2.1. Concepción de la solución. 2.2. Adquisición de conocimientos y conceptualización de los conocimientos. 2.3. Formalización de los conocimientos. 2.4. Selección de la herramienta e implementación. 2.5. Validación y evaluación del prototipo. 2.6. Definición de nuevos requisitos, especificaciones y diseño. Fase 3. Ejecución de la construcción del sistema integrado. Fase 4. Actuación para conseguir el mantenimiento perfecto. Fase 5. Lograr una adecuada transferencia tecnológica.

El estudio de estas metodologías permitió establecer que todas permiten la descripción del dominio, la delimitación del alcance del sistema, la construcción de la base de conocimiento, la implementación del sistema, la prueba, validación o evaluación de sistema construido y finalmente el refinamiento del sistema.

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 y discusión

A continuación, se muestra el proceso de desarrollo del sistema experto para la selección del tipo de recuperación en canteras de materiales de la construcción. 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)

Estudio de viabilidad

La decisión del desarrollo del sistema se tomó a partir de los resultados de la valoración de las dimensiones Plausibilidad, Justificación, Adecuación y Éxito (Alonso et al., 2004).

- **Plausibilidad:** Existen expertos en el área temática de la rehabilitación minería. Estos especialistas manifestaron su disponibilidad para participar en la realización del sistema, muestran una actitud positiva ante el desarrollo del mismo. Los expertos seleccionados son capaces de estructurar la forma en que elaboran los planes de recuperación, así como los métodos y metodologías utilizadas para ello. La tarea consideramos que está bien estructurada, lo que permite identificar las funciones que debe cumplir el sistema.
- **Justificación:** El desarrollo del sistema es de gran importancia para agilizar el proceso de selección del tipo de recuperación que debe aplicarse en una cantera, a partir de la consideración de las características del área. Con la recopilación de los conocimientos y experiencias de varios expertos se puede obtener un mejor resultado. Esta herramienta ofrecerá resultados en menos tiempo sin restarle la calidad al trabajo de los especialistas en minería.
- **Adecuación:** Se requiere experiencia en la elaboración de planes de recuperación para áreas donde se desarrolla la actividad minera. El problema se puede descomponer en subtarear y es conveniente justificar las respuestas.
- **Éxito:** La solución de este problema tiene significativa importancia para la minera, pues es necesario continuar con la explotación minera y recuperar las áreas degradadas. Los recursos y el grupo de expertos para el desarrollo del sistema están disponibles, lo que garantizará el éxito del proceso.

Adquisición de conocimientos

Las primeras reuniones con los expertos en minería permitieron determinar los objetivos del sistema experto, definir el alcance y ámbito del proyecto. De igual manera, sirvieron para establecer la estrategia para la extracción del conocimiento y determinar los requisitos funcionales y se obtuvo el compromiso del grupo de expertos para participar en el proyecto.

En esta etapa fue estudiada la documentación existente referida al tema, lo que permitió describir el proceso de rehabilitación minera, identificar los aspectos que se consideran en la determinación del tipo de recuperación que debe aplicarse en un área, así como los impactos que se producen en el medio ambiente por las acciones realizadas en la explotación de este tipo de yacimientos.

El ciclo de educación de conocimientos permitió obtener los conocimientos genuinamente privados de los expertos, este proceso se realizó en dos etapas: interrogatorio inicial e investigación profunda, que incluyó la realización de varias encuestas. Esta etapa permitió obtener las características que se tienen en cuenta para clasificar las áreas degradadas, la relación existente entre las características de las áreas degradadas y los aspectos que permiten seleccionar un tipo de recuperación e identificar las medidas que deben ejecutarse para mitigar los impactos ambientales provocados por la explotación minera.

Desarrollo de los prototipos

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

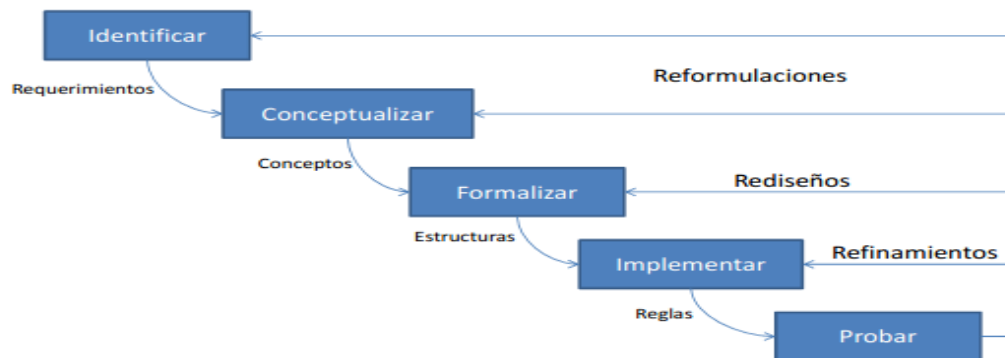


Figura 3. Pasos para el desarrollo del prototipo de sistema experto. Adaptado de (Bello et al., 2002)

En las primeras reuniones con el experto 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 conceptualización permitió el 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 se obtuvieron un glosario de términos, la relación concepto-atributo-valor y el mapa de conocimiento del dominio.

El glosario de términos ayudó a comprender los términos de la minería y rehabilitación minera, y establecer sus significados en el dominio de la aplicación para evitar posibles confusiones. La relación concepto-atributo-valor expone los conceptos del dominio del sistema, los atributos que los caracterizan y los posibles valores que los atributos pueden tomar (tabla 2). El mapa de conocimientos permitió establecer las relaciones entre los distintos conceptos y la estructura del razonamiento del experto, se obtuvo a partir del análisis de los conocimientos fácticos, tácitos y estratégicos de los expertos (figura 4).

Tabla 2. Relación concepto-atributo-valor

Concepto	Atributo	Valor
Cantera	Nombre	Texto que indica nombre de la cantera
	Relieve	Semi-montañoso, Poco accidentado, Algo accidentado, Llano, Elevaciones y quebradas secas, Colinas de gradientes suaves, Abrupto
	Pendiente	Suave, Horizontal, Inclinado, Abrupto
	Presencia de ríos	Si, No
	Materia Prima	Indica la materia prima existente en la cantera
	Área minada no recuperada	Número real positivo que indica el área minada (en hectáreas) no recuperada de la cantera.
	Área concesionada	Número real positivo que indica el área concesionada (en hectáreas) de la cantera.
	Proyecto de rehabilitación	Si, No
Acción	Nombre	Desbroce, Destape, Perforación, Voladura, Excavaciones, Transportación, Procesamiento de la materia prima, Trituración, Clasificación y lavado
Factor afectado	Nombre	Suelo, Relieve, Fauna, Flora, Aire, Agua, Atmósfera, Población
Impacto	Nombre	Texto que indica el impacto.
	Acción	Acción que provoca el impacto
	Factor	Factor sobre el cual se produce el impacto
	Medida	Texto que indica la medida que puede aplicarse para mitigar el impacto
Tipo de área degradada	Nombre	Área explotada, Área de depósitos de estériles y desechos, Área de infraestructura.
	Características	Textos que definen las características o elementos presentes en el área (frentes de explotación, vías de circulación, etc.).
Tipo de explotación	Nombre	Canteras a media ladera, Canteras de excavación descendente, Canteras en seco, Canteras en húmedo.
	Características	Textos que definen las características de la explotación (zonas llanas de poca pendiente, aplicación de relleno, etc.).
	Tipo de uso recomendado	Agrícola, Forestal, Hábitat natural, Recreativo, Urbanístico, Industrial

Tipo de recuperación	Características del terreno	Textos que definen las características del área luego de concluida la explotación minera (Pendientes suaves, Estabilidad de los taludes, Proximidad a núcleos urbanos, etc.).
	Tipo de uso que debe aplicarse	Agrícola, Forestal, Hábitat natural, Actividades recreativas, Urbanístico e Industrial, Vertederos de sólidos



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. Se consideró además, que las reglas de producción pueden ser comprendidas fácilmente por los expertos del dominio y al ser cada regla es una unidad independiente de conocimiento, el mantenimiento de la base de conocimiento es relativamente sencillo. Se utilizó como método de solución de problemas el encadenamiento hacia adelante, teniendo en cuenta que el razonamiento está guiado por las características del área y la explotación.

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.

RMin v1.0 fue utilizado en la actualización de los planes de recuperación de cinco canteras de materiales de la construcción de la provincia Santiago de Cuba. Con la ayuda del sistema, se propusieron acciones para minimizar los impactos provocados por la explotación minera y los usos recomendados para las áreas en las que finalizó la extracción del mineral. Los especialistas valoraron los resultados ofrecidos por el sistema como positivos y recomendaron su uso para estudios posteriores.



Figura 5. Interfaz principal

Tipo de recuperación

ASPECTOS QUE SE ENCUENTRAN EN EL TERRENO

Pendientes	Suaves	Accesos	Sí
Suelo fértil bien reconstituido	No	Proximidad a núcleos urbanos	Sí
Sistema de drenaje		Medidas de seguridad para los usuarios	Sí
Selección de especies		Buen acondicionamiento de la excavación	Sí
Modelado de orillas y excavaciones		Infraestructuras	Sí
Estabilidad de los taludes		Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado	Sí
Tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad del agua y características del suelo			

Tipo de recuperación El tipo de uso es Urbano e Industrial o Vertederos de Sólidos

Explicación Si el terreno tiene medidas de seguridad para los usuarios, buen acondicionamiento de la

Limpiar Salir

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 de 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.

El sistema resultante fue utilizado para la adecuación de los planes de recuperación de canteras de materiales de la construcción que se encuentran en explotación con resultados positivos.

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.
- BAŞÇİFTÇİ, Fatih y İNCEKARA, Hayri. Web based medical decision support system application of Coronary Heart Disease diagnosis with Boolean functions minimization method. Expert Systems with Applications, 2011, 38 (11): p. 14037-14043.
- 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.
- BOOTY, William G., WONG, Isaac, LAM, David y RESLER, Oskar. A decision support system for environmental effects monitoring. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24 (8): p. 889-900.
- 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.
- FASANGHARI, Mehdi y MONTAZER, Gholam Ali. Design and implementation of fuzzy expert system for Tehran Stock Exchange portfolio recommendation. En: *Expert Systems with Applications*, 2010, 37 (9): p. 6138-6147.
- FERRER MODOLELL, A.E. Restauración de impactos mineros en zonas semiáridas: el ejemplo de la provincia de Granada. *Revista Geogaceta*, 1996.
- GARCÍA PIÑON, F. Restauración de canteras para su aprovechamiento como vertederos. En: *Memorias del I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Castellón: 2008.
- GÓMEZ, Asunción, JURISTO, Natalia, MONTES, Cesar y PAZOS, Juan. *Ingeniería del conocimiento*. España, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, 1997.
- KALOUDIS, S. T., YIALOURIS, C. P., LORENTZOS, N. A., KARTERIS, M. y SIDERIDIS, A. B. Forest management planning expert system for wildfire damage reduction. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, 70 (2): p. 285–29.
- LARBI, Peter A. y SALYANI, Masoud. CitrusSprayEx: An expert system for planning citrus spray applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, 87 (0): p. 85-93.
- 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.
- PARRA ALEMÁN, J. Estudio del impacto ambiental provocado por la explotación minera en la cantera del yacimiento Los Guaos. Trabajo de Diploma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
- 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.
- SHUE, Li-Yen, CHEN, Ching-Wen y SHIUE, Weissor. The development of an ontology-based expert system for corporate financial rating. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36 (2, Part 1): p. 2130-2142.
- 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.
- UZOKA, Faith-Michael E., OSUJI, Joseph y OBOT, Okure. Clinical decision support system (DSS) in the diagnosis of malaria: A case comparison of two soft computing methodologies. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38 (3): p. 1537-1553.
- WICHT, Andreas, WETTER, Thomas y KLEIN, Ulrike. A web-based system for clinical decision support and knowledge maintenance for deterioration monitoring of hemato-oncological patients. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2013, 111 (1): p. 26-32.