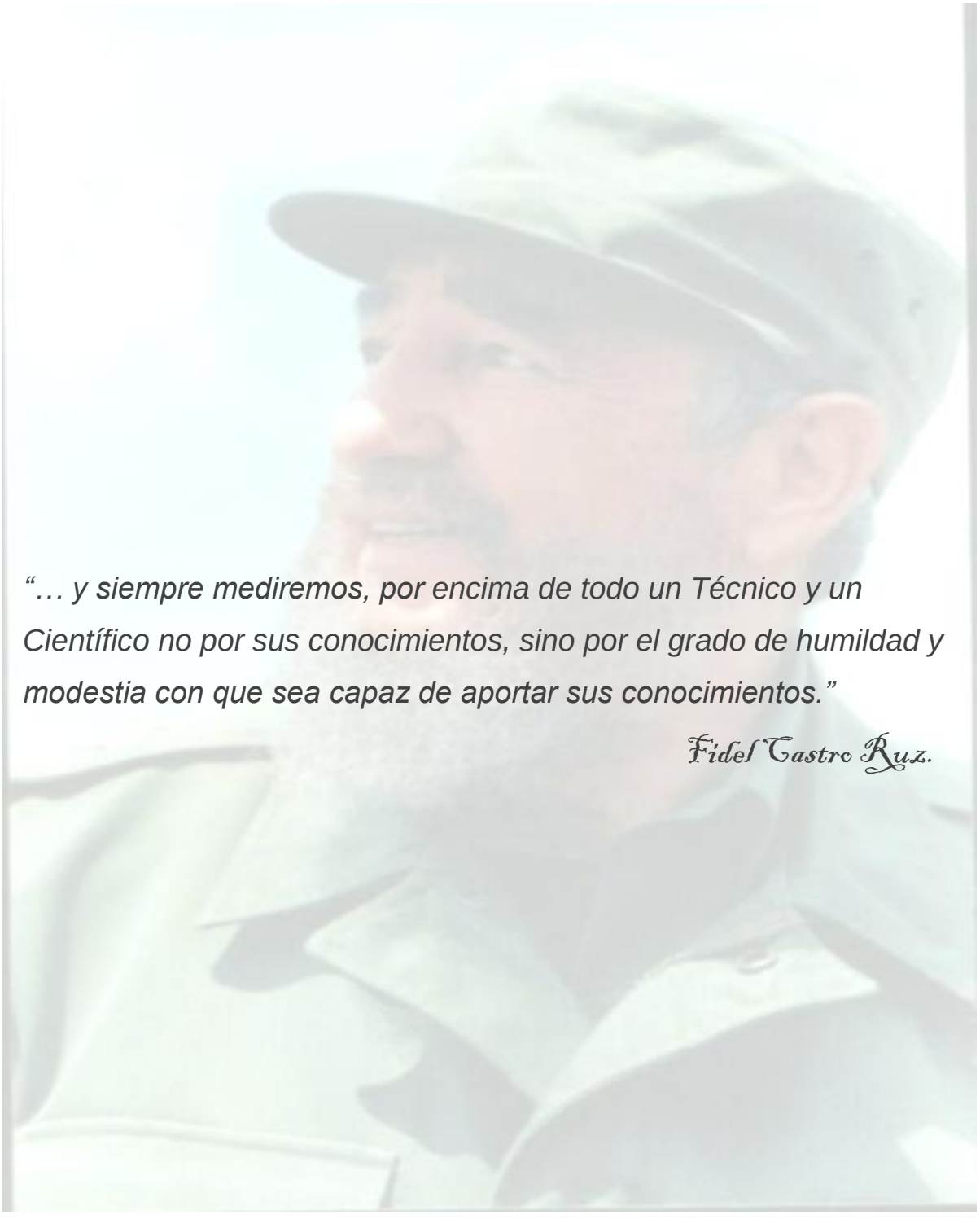
PENSAMIENTO



"… y siempre mediremos, por encima de todo un Técnico y un Científico no por sus conocimientos, sino por el grado de humildad y modestia con que sea capaz de aportar sus conocimientos."

Fidel Castro Ruz.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Inoel Arguelles Fuentes *y* ***Nancy Castillo Rodríguez****, por ser el regalo más grande de mi vida, gracias por su amor y apoyo incondicional, sin ustedes mi vida no tuviera sentido, son los mejores padres del mundo.*

A mi hermano Duniel Arguelles Castillo*, porque siempre estuvo conmigo en todos los momentos de mi vida dándome su apoyo y sintiéndome siempre orgullosa de decir, que él es mi hermano.*

A mi hermano Maikell Arguelles Ibarra*, por sus consejos y amor incondicional.*

A mi abuelita Delfa Rodríguez Cuza*, gracias por tus consejos y por estar ahí.*

A mi cuñada y tutora Katiusca Jiménez Roché*, que sin ella no hubiera sido posible perder todos mis miedos a la hora de realizar esta investigación y por siempre darme ánimos para salir adelante en mi carrera.*

A mi sobrina Katherine Arguelles Jiménez*, por ser la más bella del mundo y por mostrarme cada día esa sonrisa inocente y pícara que hace que la quiera cada día más.*

A mi esposo Pedro Luis Polanco Almaguer*, por darme ese apoyo tan grande, por enseñarme a nunca darme por vencido y por estar ahí conmigo; Te Quiero Mucho.*

A mis suegros Pedro Polanco y Lilian Almaguer, *por darme su amor y apoyo incondicional.*

A mi tutora: Dr. Yiezenia Rosario Ferrer, *por ser la mejor tutora que pude tener, por su enseñanza durante todos estos años de mi carrera y por siempre estar* ***ahí*** *para lo que necesitara.*

A mis Amigas *por darme todo su amor, cariño, por ayudarme en estos 5 años de trabajo y sacrificio, gracias por estar ahí y darme su confianza todos los días, ojalá y nunca cambien.*

Los profesores del departamento de Informática*, por las excelentes clases que impartieron.*

Al grupo Informática 08 *por todos los momentos que pasamos juntos.*

A todos *los que de una forma u otra contribuyeron en mi formación.*

MUCHAS GRACIAS.

DEDICATORIA

A mi familia:

Mis padres, hermanos, abuelita y esposo.

Declaración de Autoría.

Moa, Holguín, Junio del 2013

"Año del 55 Aniversario del Triunfo de la Revolución"

Yo, Daylin Arguelles Castillo, estudiante del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM), Dr. Antonio Núñez Jiménez, declaro que soy autora única de la presente investigación titulada: "Prototipo de Sistema Experto para la recuperación de áreas minadas en canteras de materiales de construcción en la provincia de Santiago de Cuba" y autorizo a hacer uso de la misma en su beneficio al ISMMM.

Para que así conste firman la presente a los ___ días del mes de ___del 2013.

_____

Firma del autor

Daylin Arguelles Castillo

_____

Firma del tutor

Dr. Yiezenia Rosario Ferrer

_____

Firma del Tutor

Ing. Katiusca Jiménez Roché

RESUMEN

En la actualidad con el aumento de la capacidad humana de transformar el entorno natural, se ha originado un desequilibrio entre los deterioros ocasionados y la capacidad de recuperación del medio frente a los mismos. Pero a la vez es evidente que no se puede prescindir de la minería porque es la actividad básica dedicada a la obtención de los geo-recursos, lo que obliga a solucionar los problemas de la demanda de materias primas en equilibrio con la conservación de la naturaleza. Con vista a agilizar este proceso se plantea la presente investigación, tiene como objetivo la implementación de un sistema experto que facilite la elección de los métodos de rehabilitación minera para recuperar las áreas minadas de las canteras de materiales de construcción en la provincia de Santiago de Cuba. Para cumplimentar dicho objetivo se propone realizar la clasificación de las canteras en cuanto a sus características geomorfológicas, las redes de drenaje y el porciento de área minada y recuperada. Como segunda tarea se pretende desarrollar un sistema experto con la integración de CLIPS y JAVA que permita seleccionar el método más adecuado para rehabilitar dichas canteras.

ABSTRACT

Currently with the increase of the human capacity to transform the natural environment, it has led an imbalance between the damage already caused and the capacity of the environment refurbishment versus that damage. At the same time, it is obvious that we cannot put aside mining as it is the basic activity dedicated to the withdrawal of the geo-resources, which requires solving the problems of the raw materials demand in balance with nature conservation. In view to streamline this process, raises the present research which has the goal of implementing an expert system to make easier the selection of methods for mining rehabilitation in order to recover the mined areas in quarries of construction materials located in Santiago de Cuba province. In order to achieve the above mentioned goal it is intended to make the classification of the quarries in regard to their geomorphological features, drainage networks and the percentage of both the mined and recovered areas. As a second task it is intended to develop an expert system with the integration of CLIPS and JAVA that would allow the selection of the most feasible method to rehabilitate those quarries.

ÍNDICE DE MATERIAS

INTRODUCCIÓN 11

CAPÍTULO 1. "Fundamentación Teórica". 6

Introducción. 6

1.1 Algunas investigaciones relacionadas con la rehabilitación minera a nivel mundial. 6

1.2 Algunas investigaciones relacionadas con la rehabilitación minera en Cuba. 7

1.3 Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de materiales de construcción. 10

1.3.1 Identificación y caracterización de las áreas degradadas. 11

1.3.2 Planificación de la recuperación. 11

Conclusiones Parciales 15

CAPÍTULO 2. Sistemas Expertos 19

Introducción. 19

2.1 Definición de Sistemas Expertos(SE). 19

2.2 Aplicaciones de los Sistemas Expertos. 21

2.3 Componentes de un Sistema Experto. 22

- ✓ La base de conocimientos 22
- ✓ La base de datos o base de hechos 22
- ✓ El motor de inferencias 22
- ✓ La interfaz de usuario 23
- ✓ Módulo de explicación 23
- ✓ El módulo de adquisición del conocimiento 23

2.4 Lenguajes utilizados en la construcción de SE. 23

2.4.1 LISP: 23

2.4.2 CLIPS. 24

2.4.3 PROLOG. 24

2.5 Metodologías para el desarrollo de Sistemas Expertos. 24

2.5.1 Metodología de Buchanan. 25

2.5.2 Metodología Grover. 26

2.5.3 Metodología de Weiss y Kulikowski. 27

2.5.4 Metodología IDEAL. 28

2.6 Shells para desarrollar sistemas expertos. 32

2.6.1 Humble. 32

2.6.2 EMYCIN. 33

2.6.3 Gold Works II. 33

2.7 Sistema expertos existentes para la minería en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) y a nivel internacional. 33

Conclusiones Parciales. 36

CAPÍTULO 3. "Implementación del Sistema Experto". 35

Introducción. 35

3.1. Estudio de viabilidad. 36

3.1.1 Justificación del análisis de viabilidad. 37

3.2 Justificación de la metodología de desarrollo seleccionada. 38

3.3 Fundamentación de los lenguajes y herramientas escogidas. 39

3.4 Definición de las características del sistema. 39

3.5 Requisitos funcionales. 40

3.6 Adquisición de conocimientos. 41

3.7 Etapa de Conceptualización. 43

3.8 Etapa de Formalización. 54

3.9 Etapa de Implementación. 56

3.10 Etapa de Prueba. 61

Conclusiones Parciales 64

CONCLUSIONES GENERALES 65

RECOMENDACIONES 66

BIBLIOGRAFÍA 67

APÉNDICES 71

Apéndice A: Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas 71

Apéndice B: Impactos con medidas correctoras 72

Apéndice C: Tipos de recuperación empleados en la minería. 74

Apéndice D: Relación entre las explotaciones mineras y sus usos 76

Apéndice E: Comparativa entre Sistema Clásico y Sistema Experto. 77

Apéndice F: Estructura de un Sistema Experto. 78

Apéndice G: Encuestas aplicadas. 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla1: Glosario de Términos 44

Tabla2: Concepto/ atributo/ valor 45

Tabla3: Datos de entrada y salida al sistema de las acciones a realizar en el terreno. 61

Tabla4: Datos de entrada y salida al sistema de los posibles usos que se les da a las explotaciones mineras. 62

Tabla5: Datos de entrada y salida al sistema para clasificar tipo de área degradada.. 62

Tabla6: Datos de entrada y salida al sistema del uso final de las áreas degradadas. . 62

Tabla7: Tipos de acciones empleadas en la minería. 72

Tabla8: Tipos de recuperación empleados en la minería. 74

Tabla9: Comparativa entre Sistema Clásico y Sistema Experto. 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Pasos para el desarrollo del prototipo de sistema experto. 43

Figura 2: Mapa de conocimientos 54

Figura3: Arquitectura del Sistema Experto propuesto. 56

Figura 4: Interfaz principal..... 57

Figura 5: Interfaz principal con la opción Menú. 57

Figura 6: Datos de la cantera Los Guaos. 58

Figura 7: Interfaz principal con la opción acciones. 58

Figura 8: Interfaz para obtener impacto y medida correctora. 59

Figura 9: Interfaz para obtener el posible uso a aplicar. 59

Figura 10: Interfaz para obtener el tipo de área degradada..... 60

Figura 11: Interfaz para obtener el tipo de recuperación final..... 61

Figura 12: Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas 71

Figura13: Relación entre los tipos de explotaciones mineras..... 76

Figura 14: Estructura de un Sistema Experto..... 78

INTRODUCCIÓN

La conciencia sobre el medio ambiente surgió al inicio de la década del setenta en los países más avanzados, donde el bienestar económico fruto del desarrollo, iba acompañado de secuelas no deseadas sobre la naturaleza y que eran inaceptables para los pueblos, por esto se han desarrollado desde entonces muchos encuentros y conferencias internacionales con el fin de prevenir este fenómeno.

En la actualidad la extracción de materiales a cielo abierto es un tipo de disturbio antrópico que afecta todos los factores del ecosistema (vegetación, fauna, suelos), las geo-formas 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 son muy graves debido a que los taludes quedan inestables y se producen deslizamientos, que a su vez pueden generar pérdidas de vidas humanas (Montes de Oca, 2012).

En Santiago de Cuba hay concesionados 10 yacimientos, que explotan geo-recursos destinados a la producción de materiales de la construcción. Estos yacimientos son: Los Guaos, Baitiquirí, Juraguá, El Cristo (Maceiras Vaquería), La Gloria, Los Dorados II, Mucaral, Santiago – Palma´´ Zona Dos Palmas´´, Siboney y Yarayabo. Los cuales disponen de su proyecto de rehabilitación aunque no están actualizados, se incumple así con la Ley 76 de Minas que 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. Las áreas dañadas por la explotación de materiales de la construcción en la provincia ocupan alrededor de 43ha, lo cual provoca un fuerte impacto al medioambiente. Se cuenta con un procedimiento para recuperar las áreas degradadas en las canteras de Santiago de Cuba donde se debe definir el "tipo de recuperación" a aplicar a cada unidad del espacio (Montes de Oca, 2012).

Este proceso puede durar varias semanas ya que se realiza de forma manual, muchas veces la elección del tipo de recuperación no es la más efectiva y es necesario conocer los resultados para poder dar inicio al procedimiento.

Por tal motivo se reflexiona sobre la posibilidad de informatizar los tipos de recuperación minera como consecuencia de la necesidad de perfeccionar cada día los medios y poder recuperar las áreas minadas en aras de incrementar la productividad.

Teniendo en cuenta los elementos que fundamentan la situación problémica a la cual hemos hecho referencia y las necesidades imperantes en el país de informatizar las industrias con el fin de mejorar la calidad de la producción, se formuló el siguiente:

Problema científico: ¿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 en la provincia de Santiago de Cuba?

Objeto de estudio: Sistemas expertos basados en reglas.

Campo de acción: Desarrollo de sistemas expertos basados en reglas de apoyo a la toma de decisiones.

Objetivo general: Desarrollar un prototipo de Sistema Experto para informatizar la selección del tipo de recuperación en áreas dañadas por la minería en canteras de materiales de la construcción en la provincia de Santiago de Cuba.

Idea a defender: Un Sistema Experto de apoyo a la toma de decisiones en el proceso de selección del tipo de recuperación minera, favorecerá la recuperación de áreas dañadas por la minería en las canteras de materiales de la construcción en la provincia de Santiago de Cuba.

Sistema de Tareas:

1. Elaborar el marco teórico conceptual de la investigación.
2. Realizar el estudio de viabilidad.
3. Definir los requisitos del sistema.
4. Conceptualizar los elementos relacionados con el proceso de rehabilitación minera en las canteras de materiales de la construcción.
5. Formalizar los conocimientos.
6. Diseñar la interfaz de usuario.

7. Implementar el prototipo de Sistema Experto (SE) para recuperar las áreas degradadas en canteras de materiales de la construcción.

Para dar respuesta a estas tareas propuestas se emplearon los métodos científicos de la investigación: ***teóricos y empíricos***.

Los ***métodos empíricos*** de investigación estudian las características y relaciones esenciales del objeto que son accesibles directamente desde la percepción sensorial (conocimiento sensorial)(Legrá, 2008).

Los ***métodos teóricos*** de investigación se aplican durante el proceso de explicación, predicción, interpretación y compresión de la esencia del objeto. Posibilitan la interpretación conceptual de los datos empíricos, revelan las relaciones esenciales del objeto de investigación que no son observados a simple vista, participan en la construcción del modelo y la hipótesis de la investigación (Legrá, 2008).

Entre los ***métodos empíricos*** se encuentran:

- ✓ **Entrevista:** Necesaria en la recopilación de la información para el conocimiento del problema en general. En esta investigación, se realizaron varias entrevistas con el experto, que radica en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para clasificar las canteras y aclarar dudas sobre rehabilitación minera.
- ✓ **Comparación:** Este método se utilizó al realizar un estudio sobre las herramientas existentes y compararlas, para así definir la que se va a utilizar.

Entre los ***métodos teóricos*** se encuentran:

- ✓ **Análisis y Síntesis:** Fue empleado en la recopilación y el procesamiento de la información obtenida en los métodos empíricos y de esta forma arribar a las conclusiones.
- ✓ **Teóricos – Históricos:** Revisión bibliográfica general y discriminativa, posición crítica ante los hechos y evaluación de las tendencias análisis- síntesis.

La estructura del presente trabajo es la siguiente:

En el ***capítulo 1***, “Fundamentación teórica”, se determinan las principales definiciones a tratar en la investigación (minería, rehabilitación minera, pendientes, etc.),

investigaciones relacionadas con la rehabilitación minera a nivel mundial, con la rehabilitación minera en Cuba y legislación minero ambiental a nivel internacional.

En el ***capítulo 2***, “Sistemas Expertos”, se describe todo lo relacionado con los Sistemas Expertos, sus características fundamentales, se presentan comparaciones entre sistema experto y sistema clásico, sus principales aplicaciones, ejemplos y ventajas. Además se recogen algunas metodologías y lenguajes para su desarrollo.

En el ***capítulo 3***, “Implementación del Sistema Experto”, se describe la aplicación que se ha desarrollado para implementar el proceso antes mencionado.

A continuación se incluyen las conclusiones generales, las referencias bibliográficas utilizadas y finalmente se incorporan los anexos.

CAPÍTULO 1. "Fundamentación Teórica".

- **Introducción.**
- **Algunas investigaciones relacionadas con la rehabilitación minera a nivel mundial.**
- **Algunas investigaciones relacionadas con la rehabilitación minera en Cuba.**
- **Procedimiento para la aplicación de la recuperación de áreas degradadas en canteras de materiales de construcción.**
- **Conclusiones Parciales.**

Introducción.

El presente capítulo tiene como objetivo principal presentar el marco teórico conceptual del problema de la rehabilitación minera y su implicación ambiental, en el mundo y Cuba; particularizando en la industria extractiva de materiales de construcción.

1.1 Algunas investigaciones relacionadas con la rehabilitación minera a nivel mundial.

La Rehabilitación Minera es la recuperación del lugar alterado de acuerdo a un proyecto previo y en condiciones compatibles con el entorno, o sea reaprovecha el área para una nueva finalidad (comercial, agrícola, industrial, urbanística, recreativa, cultural) (Rubio, 1998).

En los últimos años son numerosos los artículos e investigaciones realizadas a nivel internacional acerca de la rehabilitación minera y el papel que desempeñan en la protección del medio ambiente.

Ferrer (1996) plantea que en zonas semiáridas la restauración de canteras supone un proceso lento y costoso debido, fundamentalmente, a las limitaciones climáticas que imperan.

Anguera (2005) pretende servir como ayuda para realizar las labores de restauración de la cantera y revegetación del espacio afectado por las actividades extractivas, utiliza como caso de estudio la cantera "Soroixa", una explotación de caliza con una

producción aproximada de 800000t/año, situada en el municipio de Picassent (Valencia).

Piñon (2008) propone el uso de canteras abandonadas, potencialmente aprovechables, para el depósito de vertederos. De esta forma se puede restaurar la cantera dando un aprovechamiento máximo a la instalación y salida al problema social y político que plantea la ubicación de vertederos y el aumento de los residuos generados, así como a los vertidos incontrolados.

Un documento de considerable importancia para la rehabilitación es el Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo Montse (2010) que recoge la experiencia de 20 años de estudios de restauración de canteras de caliza.

Blanco (2011) realizó un estudio sobre la degradación y posterior recuperación del suelo en el emplazamiento de la zona de estudio que está situado junto al Barranco de Benet, en el valle delimitado por la Sierra de la Valld'Ángel este de España, inicialmente de Uso Forestal, en la cual se ubica una explotación de extracción de áridos (Uso Extractivo).

1.2 Algunas investigaciones relacionadas con la rehabilitación minera en Cuba.

Algunos autores han investigado y realizado trabajos sobre rehabilitación minera en Cuba. Una de las primeras investigaciones realizadas sobre la recuperación de áreas minadas fue la efectuada por Pous (1985) en su artículo Recuperación de zonas devastadas por los trabajos mineros, el autor hace referencia al deterioro de diferentes recursos naturales universales como el agua, el aire, los bosques. Ya desde ese tiempo se plantea la necesidad de tomar en cuenta desde un inicio la correlación adecuada entre el sistema de explotación del yacimiento (destape-preparación-extracción) y la disposición del mismo de forma tal que una vez finalizada la extracción, que permita acometer las labores previstas para su recuperación. Se plantean los posibles usos finales que se le pueden dar a las minas después de ser explotadas y se describen los avances que ha dado la Revolución en materia de protección minero ambiental con el anteproyecto de la Ley Minera y la Ley de protección del Medio Ambiente que

contemplan la regulación de las actividades que afectan el medioambiente, así como la obligatoriedad de recuperar las zonas devastadas por la minería.

Parra (2003) realizó el estudio del impacto ambiental provocado por la explotación minera en la cantera del yacimiento Los Guaos en la provincia de Santiago de Cuba, en el que se determinaron las actividades que provocan los mayores impactos negativos así como los de mayor importancia, no se propone un sistema de rehabilitación como tal de las áreas degradadas.

Por otra parte, Carbonell (2003) en su trabajo Evaluación del impacto ambiental que se genera durante la explotación del yacimiento La Yaya y en el proceso industrial de la calera, establece y valora los diferentes impactos que se generan en la zona de incidencia durante todo el proceso de ejecución del proyecto y las causas que están provocando las afecciones respiratorias en un gran por ciento de los habitantes de la misma. Se proponen las medidas técnicas que permitan mitigar estos impactos y conlleven a un mejor desarrollo socioeconómico de la zona, protegiendo y conservando el medioambiente y poder utilizar racionalmente los recursos naturales.

Riverón (2003) en su tesis de maestría propone un plan para la rehabilitación de las áreas degradadas por la extracción de arena en la cuenca hidrográfica Sagua-Miguel (Sector La Plazuela), donde evalúa el impacto ambiental que se genera a partir de la rehabilitación minera y se propone el plan para la rehabilitación de 11.25 ha afectadas por la minería. Se calculó además el costo total de dicha rehabilitación.

En otra tesis de maestría, Aguilera (2003) realiza el estudio del impacto ambiental ocasionado por la explotación del yacimiento fluvial de arena y grava “Río Nibujón”, en este trabajo se presenta el estudio de impacto ambiental producido por la explotación de un depósito fluvial de arena y grava, localizado en la zona de amortiguamiento del parque Alejandro de Humbolt, se elabora el plan de medidas preventivas, correctoras o de mitigación de los impactos causados junto al plan de monitoreo de las actividades de explotación.

Ulloa (2004) en su artículo Rehabilitación de áreas en desuso del yacimiento de rocas ornamentales Rosado del Río en la provincia de Granma, realizó un diagnóstico preliminar para detectar la situación ambiental de la zona del yacimiento a través de un

levantamiento de campo. Se determinaron las deficiencias y violaciones que afectan el medio ambiente de la cantera derivada del proyecto de explotación minero y se recomendaron acciones para la rehabilitación.

En su tesis de diploma Propuesta de recuperación ambiental del yacimiento polimetálico Santa Lucía, Andrea (2006) da respuesta a la problemática ambiental que existe en esta área al proponer el proyecto de recuperación basado fundamentalmente en la reforestación con especies endémicas, naturales y forestales.

En la actualidad, la rehabilitación de áreas minadas es prioridad para las empresas mineras en Cuba, por lo que se implementan nuevas técnicas y procedimientos que disminuyen el tiempo de recuperación de estas áreas. En las minas lateríticas de Moa y Nicaro en la provincia de Holguín, donde la actividad minera a cielo abierto había degradado varios cientos de miles de hectáreas de terreno, muchos de los cuales se encuentran en proceso de recuperación por la intervención del hombre, son ingentes los esfuerzos que se realizan para su recuperación. Estos importantes proyectos han sido realizados por instituciones de la Unión Cubana del Níquel que explota a cielo abierto los yacimientos lateríticos de esta zona, hace más de 60 años; la experiencia acumulada le permite ir rehabilitando simultáneamente las áreas cerradas y las que se van cerrando anualmente. Por ejemplo, en Moa se realiza el monitoreo y evaluación de áreas reforestadas afectadas por la actividad minera y que ya están siendo rehabilitadas; vale destacar, que se cuenta con una metodología para la Rehabilitación Ecológica Integral (REI) de las áreas degradadas por la minería, con bases ecológicas y empleando la diversidad de especies nativas posibles.

Igualmente, y por primera vez en Cuba, se utilizaron variables físico-químicos biológicos, como indicadores del proceso de recuperación del suelo en áreas afectadas por la minería, así como el análisis del retorno o restablecimiento de la flora (incremento de la diversidad) como expresión de la recuperación del suelo y medida de este proceso de recuperación.

El yacimiento El Cobre ubicado en la provincia de Santiago de Cuba, posee planes para rehabilitar el ecosistema lesionado por la industria minera donde la magnitud de los

impactos generados por más de 500 años de explotación en esa región es muy fuerte. Los planes propuestos realizan una evaluación de los severos daños causados al medio ambiente, proponiendo la reforestación y la conformación del terreno como las principales acciones del proyecto de recuperación. En el año 2002, se hace efectivo el cierre de la mina El Cobre, como consecuencia de cinco siglos de trabajos mineros, teniendo en cuenta la degradación del ecosistema de toda el área que ocupa el campo mineral y debido a factores técnicos económicos.

Cañete (2001) considera en sus estudios, que aún era insipiente el trabajo de recuperación de áreas mineras, destacando los planes de La Unión del Níquel. Este y otros autores concluían que las causas de insuficiente trabajo de recuperación de áreas minadas se debían a una concepción deficiente del plan de medidas de protección medio ambiental, escaso respaldo financiero, inexistencia de planes de monitoreo y deficiente plan de capacitación en materia de proyección ambiental.

1.3 Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas en canteras de materiales de construcción.

Considerando los diversos aspectos involucrados en la recuperación de áreas degradadas por la minería, se muestran las etapas y procedimientos básicos que deben guiar el trabajo en el caso de las canteras de materiales de construcción *(ver apéndice A)* y se profundiza en las etapas que serán informatizados.

Etapa 1: Identificación y caracterización de las áreas degradadas.

- Acciones a realizar en el terreno.
- Clasificación de los tipos de áreas degradadas.
- Implementación de medidas correctoras.

Etapa 2: Planificación de la recuperación.

- Posible uso final que se dan a las explotaciones mineras.
- Elección del tipo de recuperación y uso final (Montes de Oca, 2012).

1.3.1 Identificación y caracterización de las áreas degradadas.

- ✓ **Clasificación de los tipos de áreas degradadas.**

  Áreas explotadas: incluyen excavaciones a cielo abierto (secas o inundadas), frentes de explotación, taludes, trincheras, pozos, galerías subterráneas, superficies removidas, etc.

  Áreas de depósitos de estériles y desechos: incluyen pilas o cuerpos de escombreras, suelos superficiales, estériles, tanques de decantación de desechos de beneficiamiento, etc.

  Áreas de infraestructura: incluyen áreas de funcionamiento de unidades, área de almacenaje y expedición de mineral, vías de circulación, talleres de máquinas y equipos (Montes de Oca, 2012).

- ✓ **Medidas correctoras para la recuperación.**

La mayoría de las actividades que se desarrollan en la cantera son agresivas para la naturaleza. La minería reviste especial interés, ya que después de realizar la extracción de los recursos naturales si no existe una restauración posterior, los terrenos quedan en una situación de degradación sin posibilidades reales de aprovechamiento.

Las actividades desarrolladas por los trabajadores en las canteras producen una serie de impactos que pueden afectar varios factores (suelo, aire, agua, población, atmósfera, etc.), por lo que se pueden aplicar medidas para corregir los daños causados *(ver apéndice B)* (Montes de Oca, 2012).

1.3.2 Planificación de la recuperación.

La recuperación de áreas degradadas por la explotación minera debe, idealmente, ser planificada antes de la implantación del emprendimiento, previendo la desactivación de las actividades mineras y la rehabilitación de los terrenos remanentes. A continuación se muestran los tipos de recuperaciones con sus posibles usos.

- ✓ **Tipos de recuperaciones.**

A la hora de recuperar una cantera se debe tener en cuenta el uso que se le va a dar a los terrenos una vez finalizadas las operaciones de extracción *(ver apéndice C).* Para determinar el uso final habrá que adaptarse a las limitaciones y potencialidades del terreno ya después de realizada la explotación. A continuación se muestran los posibles usos que se le pueden aplicar a los terrenos afectados por las explotaciones mineras.

Urbanístico e industrial.

Las excavaciones realizadas en áreas urbanas o muy próximas a estas, cuando la extensión de tales núcleos las haya englobado, pueden aprovecharse para construir zonas residenciales o incluso zonas comerciales. Las formas del terreno son en muchos casos ideales, ya que se han llevado a cabo explanaciones que facilitan la construcción de las edificaciones y la integración en el medio urbano.

Recreativo intensivo y deportivo.

En áreas urbanas y residenciales, los terrenos abandonados próximos a las mismas, pueden ser adecuados para desarrollar diferentes actividades recreativas y deportivas, especialmente para los jóvenes. Siempre que se trate de terrenos secos, es posible usarlos como parques de aventuras, circuitos para ciclismo y motocross, campos de fútbol, de tenis, instalaciones de tiro con arco, etc. Si se dispone de agua suficiente, podrán construirse estanques o lagos para practicar deportes como remo, natación, etc. En todos esos aprovechamientos las áreas deben acondicionarse remodelando el terreno, estabilizando los taludes y retirando todo vestigio minero que pudiera dar lugar a accidentes.

Agrícola.

El uso agrícola es probablemente uno de los usos más utilizados en la recuperación de los terrenos afectados por las actividades mineras. Esto parece estar justificado fundamentalmente por motivos económicos, tanto en aquellas zonas donde el uso original era el agrícola, y por tanto dicho uso resulta apropiada y obvia, como en aquellas otras donde la dedicación original no era la agricultura.

Forestal.

Este tipo de dedicación está menos extendido que el agrícola y, aunque normalmente su instauración es más cara, en algunas ocasiones resulta más económico que el uso agrícola, pudiendo ser una buena alternativa en aquellas tierras de peor calidad donde no es posible llevar a cabo el mencionado uso. No obstante, su rentabilidad es más baja y los resultados se observan a un plazo más largo. Para repoblar forestalmente un terreno, se necesita que los suelos tengan unas características adecuadas, primero físicas para retener el agua necesaria para las especies arbóreas y el desarrollo de sus raíces y después químicas y biológicas, para disponer de elementos nutrientes y condiciones óptimas.

Recreativo no intensivo y educacional.

En muchas áreas rurales, las antiguas explotaciones ofrecen posibilidades de usos similares, en muchos aspectos, a las ubicadas en zonas urbanas, ya comentadas anteriormente. Zonas amplias con gran variedad de hábitat, normalmente con extensiones superiores a 10ha, pueden aprovecharse como parques, incluyendo estanques, áreas de esparcimiento, aparcamientos, merenderos, embarcaderos, pistas de equitación y otros servicios.

Conservación de la Naturaleza y refugio ecológico.

Los procesos de colonización natural por diversas especies voluntarias en los antiguos terrenos ocupados por explotaciones mineras confieren a estos, al cabo de un cierto tiempo, un potencial ecológico importante. Los procesos de colonización son complejos y se producen de forma fortuita más que planificada, siempre que no exista, desde el abandono, una intervención posterior del hombre.

Depósitos de agua y abastecimiento a poblaciones.

Las excavaciones profundas de canteras es posible utilizarlas como depósitos de almacenamiento de agua con diversos fines: para la regulación hidráulica, para la lucha contra avenidas, para la navegación, para el riego, etc.

Vertederos de estériles y basuras.

Como en muchas ocasiones, las minas y canteras se encuentran próximas a áreas urbanas e industriales, un uso muy frecuente de las excavaciones finales es el de

depósitos de basuras, escombros y residuos industriales sólidos. El vertido de esos residuos debe llevarse a cabo de forma completamente controlada, especialmente si no tienen las características de los residuos inertes, realizándose un estudio inicial de las propiedades hidrogeológicas de las formaciones rocosas sobre las cuales se van a construir, las condiciones climatológicas y geográficas, las limitaciones socioeconómicas etc. (Montes de Oca, 2012).

1.3.2.1 Posible uso final que se dan a las explotaciones mineras.

Para el estudio de los distintos elementos que van a determinar la elección del tipo de recuperación se recomienda contar con un equipo multidisciplinar donde intervengan, además de técnicos en ingeniería de minas, en función de cada caso, geólogos, biólogos, paisajistas, técnicos en agricultura, entre otros.

Es necesario realizar un estudio preciso de la información disponible de todos los aspectos que puedan condicionar la recuperación, el tipo de explotación que se pretende desarrollar y, más concretamente el método de laboreo diseñado. Este último es un factor determinante para la elección de uno u otro método de recuperación

Los usos posibles a que pueden destinarse los terrenos afectados por las explotaciones mineras pueden observarse *(ver apéndice D)* (Montes de Oca, 2012).

Conclusiones Parciales

En este capítulo se demostró la preocupación mundial y especialmente de nuestro país por los problemas no resueltos del incremento de la contaminación ambiental relacionada con la explotación minera.

Del procedimiento existente para recuperar las áreas degradadas en canteras de materiales de construcción en la provincia de Santiago de Cuba, solo se informatizará algunas de las etapas de las dos primeras fases, ya que las otras etapas deben de ser desarrolladas por los trabajadores.

CAPÍTULO 2. Sistemas Expertos

- **Introducción.**
- **Definición de Sistemas Expertos (SE).**
- **Aplicaciones de los Sistemas Expertos.**
- **Componentes de un Sistema Experto.**
- **Lenguajes utilizados en la construcción de SE.**
- **Metodologías para el desarrollo de Sistemas Expertos.**
- **Trabajos precedentes en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.**
- **Conclusiones Parciales.**

Introducción.

Antes de la aparición de las computadoras, el hombre ya se preguntaba si se le arrebataría el privilegio de razonar y pensar. En la actualidad existe un campo dentro de la Inteligencia Artificial (IA) a la que se le atribuye esa facultad: el de los Sistemas Expertos (SE). Estos sistemas permiten la creación de máquinas que razonan como el hombre, restringiéndose a un espacio de conocimiento limitado. En teoría pueden razonar siguiendo los pasos que seguiría un experto humano (médico, analista, empresario, entre otros.) para resolver un problema concreto (García, 1992). En este capítulo se analizarán con más detalles dichos sistemas, puesto que se propone desarrollar un SE para la elección del método más efectivo para recuperar la áreas degradadas en las canteras de materiales de la construcción en la provincia de Santiago de Cuba y se realizará un resumen de los SE realizados para la minería en el ISMMM.

2.1 Definición de Sistemas Expertos(SE).

Los expertos son personas que resuelven tipos específicos de problemas. Su habilidad proviene, generalmente, de una vasta experiencia y de un conocimiento detallado, especializado de los problemas que manejan.

El concepto de Sistema Experto (SE) fue introducido por Feigenbaum como consecuencia de la experiencia del proyecto DENDRAL. El surgimiento de estos sistemas está directamente vinculado al cambio de concepción ocurrido a fines de la década del 60, pues de los intentos de emular el pensamiento humano mediante potentes métodos de razonamiento se pasó a dar mayor énfasis 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 (M.S.P.) empleado.

Los Sistemas Expertos (SE) constituyen uno de los éxitos comerciales más importantes de la Inteligencia Artificial. Estos son programas sofisticados de computación que tratan de imitar funciones de un experto en algún dominio del conocimiento, es decir, manipulan conocimientos de expertos para resolver, eficiente y efectivamente, problemas de un área específica, tal como lo hacen los expertos humanos. Incorporan operativamente el conocimiento de una o varias personas experimentadas. Resuelven problemas de forma “inteligente” y son capaces de explicar y justificar sus respuestas. Son creados para actuar como asistentes “inteligentes” en los procesos de tomas de decisión.

Los SE pueden ser considerados como una aplicación práctica de los principios de la Inteligencia Artificial. Su finalidad y principal actividad no es copiar los procesos mentales humanos en la manera más fiel, sino lograr las mejores respuestas a preguntas de datos reales (Bello, 2005).

Con la ayuda de un sistema experto personas con poca experiencia pueden resolver problemas que requieren un "conocimiento formal especializado". Se pueden obtener conclusiones y resolver problemas de forma más rápida que los expertos humanos. Estos sistemas razonan pero en base a un conocimiento adquirido y recomendado en las siguientes situaciones:

- ✓ Cuando los expertos humanos en una determinada materia son escasos.
- ✓ En situaciones complejas, donde la subjetividad humana puede llevar a conclusiones erróneas.

- ✓ Cuando es muy elevado el volumen de datos que ha de considerarse para obtener una conclusión (Sánchez, 1990).

En la actualidad los sistemas expertos ayudan a resolver muchos problemas, estos sistemas poseen las ventajas siguientes:

- ✓ Permanencia: los SE no olvidan.
- ✓ Reproducción: se pueden hacer muchas copias de un SE.
- ✓ Eficiencia: puede mejorar el rendimiento y distribuir costos entre varios usuarios.
- ✓ Consistencia: situaciones similares, se manejan de la misma manera en diferentes oportunidades.
- ✓ Documentación: un SE puede proveer permanentemente documentación acerca de su proceso de decisión.
- ✓ Oportunidad: la información está disponible a tiempo para la toma de decisiones.
- ✓ Amplitud: el conocimiento de múltiples expertos puede ser combinado para obtener un sistema más amplio.
- ✓ Completitud: un SE puede revisar todas sus transacciones, una persona sólo una muestra.
- ✓ Resolución de problemas complejos que no tengan una solución específica y adecuada (De la Fuente, 2006).

2.2 Aplicaciones de los Sistemas Expertos.

Los SE constituyen uno de los éxitos comerciales más importantes de la IA y representan la avanzada en el paso de las técnicas de IA, desde los laboratorios académicos al ambiente productivo.

- ✓ Transacciones bancarias: usando los cajeros automáticos que son ejemplos sencillos de sistemas expertos (Castillo, 1997).
- ✓ Control de tráfico: se utilizan sistemas expertos que operan automáticamente los semáforos y regulan el flujo del tráfico en las calles de una ciudad y en los ferrocarriles (Castillo, 1997).

- ✓ Predicción: Inferir las consecuencias de situaciones dadas (Bello, 2005).
- ✓ Diagnóstico médico: se utilizan sistemas expertos para asistir a médicos en el momento que un paciente presenta un conjunto de síntomas, (Castillo, 1997).
- ✓ Monitoreo: Comparar observaciones para detectar situaciones esperadas.
- ✓ Problemas de planificación: para que optimicen ciertos objetivos como, por ejemplo, la organización y asignación de aulas para la realización de exámenes finales en una gran universidad, la planificación de autobuses para las horas de congestión o de días festivos (Castillo, 1997).

2.3 Componentes de un Sistema Experto.

No existe una estructura de sistema experto común. Sin embargo, la mayoría tienen unos componentes básicos: base de conocimientos, motor de inferencia, base de datos e interfaz con el usuario. Muchos tienen, además, un módulo de explicación y un módulo de adquisición del conocimiento. El *apéndice F* muestra la estructura de un sistema experto ideal.

- ✓ **La base de conocimientos** contiene el conocimiento especializado extraído del experto en el dominio. Es decir, contiene conocimiento general sobre el dominio en el que se trabaja. El método más común para representar el conocimiento es mediante reglas de producción. El dominio de conocimiento representado se divide, pues, en pequeñas fracciones de conocimiento o reglas (Carrillo, 1987).
- ✓ **La base de datos o base de hechos** es una parte de la memoria de la computadora que se utiliza para almacenar 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 y explicar las deducciones y el comportamiento del sistema.
- ✓ **El motor de inferencias** es un programa que controla el proceso de razonamiento que seguirá el sistema experto. Utilizando los datos que se le

suministran, recorre la base de conocimientos para alcanzar una solución en los sistemas basados en reglas (Carrillo, 1987).

- ✓ **La interfaz de 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**, diseñado para aclarar al usuario la línea de razonamiento seguida en el proceso de inferencia. Si el usuario pregunta al sistema como ha alcanzado una conclusión, este le presentará la secuencia completa de reglas usadas. Esta posibilidad de explicación es especialmente valiosa cuando se tiene la necesidad de tomar decisiones importantes amparándose en el consejo del SE.
- ✓ **El módulo de adquisición del conocimiento** permite que se puedan añadir, eliminar o modificar elementos de conocimiento (en la mayoría de los casos reglas) en el Sistema Experto. El módulo de adquisición permite efectuar ese mantenimiento, anotando en la base de conocimientos los cambios que se producen (Carrillo, 1987).

2.4 Lenguajes utilizados en la construcción de Sistemas Expertos.

Existen muchas herramientas para la construcción de SE, ya sea para el esquema de representación del conocimiento como para la máquina de inferencia. Para desarrollar el SE se realizó un estudio sobre la posibles herramientas a utilizar en su construcción. Estas herramientas son:

2.4.1 LISP:

Acrónimo de lenguaje de Procesamiento de Listas, fue inventado por John McCarthy y su equipo en la Universidad de Stanford a finales de 1950. Originalmente fue creado

como un modelo computacional de procesos matemáticos, reflejando el rigor de las propias matemáticas.

LISP actualmente está diseñado para manejar símbolos matemáticos (variables), por lo que es utilizado perfectamente para la investigación en IA, donde un símbolo puede representar cualquier cosa (Hasemert, 2005).

2.4.2 CLIPS.

CLIPS es otra herramienta para el desarrollo de SE que ofrece un entorno completo para su construcción basado en reglas y objetos. CLIPS está siendo utilizado por numerosos usuarios como la NASA (que es su creadora), muchas universidades y empresas. CLIPS viene de(C Language Integrated Production System) y como su nombre lo indica, uno de los objetivos que buscaban sus creadores era la fácil integración con programas en C. Así, al darle una portabilidad con programas en lenguaje C, las universidades que lo usan pueden trasladar fácilmente sus aplicaciones al entorno de la gente (Bañares, 1998).

2.4.3 PROLOG.

Prolog es un lenguaje de programación que se centra alrededor de un conjunto pequeño de mecanismos, incluyendo reconocimiento de patrones, estructuras de datos basadas en árboles y bactraking (retroceso) automático. Este conjunto pequeño constituye una estructura de programación sorprendentemente poderosa y flexible. Prolog es ideal para resolver problemas que involucren objetos -en particular objetos estructurados- y relaciones entre ellos. Por ejemplo, un ejercicio muy sencillo en Prolog es expresar relaciones espaciales, de la forma: “la esfera azul detrás de la verde” (Bratko, 1999).

2.5 Metodologías para el desarrollo de Sistemas Expertos.

Las metodologías son herramientas esenciales usadas por el Ingeniero de conocimiento, ya que dan pautas de como desarrollar un sistema experto y permiten detectar problemas para corregirlos a tiempo, evitando así el arrastre de los mismos.

2.5.1 Metodología de Buchanan.

Este método puede esquematizarse en seis etapas:

Etapa 1: Familiarización con el problema y el dominio.

Se realiza la lectura de libros o artículos, las entrevistas y charlas con personas que tienen dominio sobre el tema y es necesario que exista un experto que esté dispuesto a colaborar en la construcción del sistema y también se determinan las tareas o funciones que van a ser ejecutadas por el sistema experto.

Etapa 2: Delimitación del sistema.

Con el objetivo de identificar y caracterizar el problema existente, el experto y el ingeniero del conocimiento definen el alcance del sistema experto, es decir, que problemas va a resolver concretamente el sistema experto.

Etapa 3: Obtención de la estructura de inferencia del Sistema Experto.

Después que el problema es definido por el usuario el ingeniero de conocimiento (IC) empieza a determinar los principales conceptos del dominio para realizar las tareas que va a resolver el SE. Este trata de entender los conceptos relevantes solicitándole al experto que explique los razonamientos que utiliza para resolver los problemas.

Etapa 4: Definición del Sistema Experto prototipo.

Se definen los conceptos primitivos, con la forma de representación elegida. Este es el primer paso hacia la implementación del prototipo. El ingeniero de conocimiento puede presentar las reglas definidas y en ocasiones los resultados obtenidos al usar las reglas, para que el experto manifieste su opinión sobre la representación y soluciones.

Etapa 5: Depuración del sistema prototipo.

Se refina el sistema prototipo, superando la base de conocimientos, refinando las reglas, rediseñando la estructura del conocimiento o reformulando conceptos básicos, con el objetivo de capturar información adicional que haya proporcionado el experto.

Etapa 6: Optimización del Sistema Experto prototipo.

Cuando el sistema prototipo ha crecido que resulta difícil manejarlo, el IC rediseña un sistema más eficiente. Este nuevo sistema deberá refinarse y extenderse con el fin de completar su desarrollo.

2.5.2 Metodología Grover.

El Método de Grover es, junto con el de Buchanan, uno de los más importantes para el diseño de una base de conocimiento. Este método además de definir una serie de etapas, propone con énfasis la documentación de los procesos, lo que sirve de medio de comunicación y referencia entre los usuarios y los diseñadores. La metodología de adquisición de conocimiento tiene tres fases: definición del dominio, formulación fundamental del conocimiento y consolidación del conocimiento basal (Grover, 1983).

Etapa 1. Definición del dominio.

Después que el problema es definido por el usuario, la primera fase de adquisición de conocimientos consiste en un cuidadoso entendimiento del dominio. El objetivo es la producción de un Manual de Definición de Dominios conteniendo:

- ✓ Descripción general del problema.
- ✓ Bibliografía de los documentos referenciados.
- ✓ Glosario de términos, acrónimos y símbolos.
- ✓ Identificación de expertos autorizados.
- ✓ Definición de métricas de funcionamiento apropiadas y realistas.
- ✓ Descripción de escenarios de ejemplos razonables.

Etapa 2. Formulación fundamental del conocimiento.

Se revisan los escenarios seleccionados por el experto. Esta revisión forma una base para determinar la acción mínima, realizar la prueba y efectuar la corrección y determinar las capacidades del sistema experto que pueden ser expandidas y sujetas a experimentación. Esta base de conocimiento debe incluir: una ontología de

entidades del dominio, relaciones entre objetos (clases) y descripciones objetivas, un léxico seleccionado (vernáculo), una definición de fuentes de entrada y formatos, una descripción del estado inicial incluyendo un conocimiento estático, un conjunto básico de razones y reglas de análisis, y una lista de estrategias humanas (meta-reglas) las cuales pueden ser consideradas por los diseñadores del sistema experto como reglas a incluir en la base de conocimiento.

Etapa 3. Consolidación del conocimiento basal.

El último paso en ese proceso es el ciclo de "revisión y mejoramiento" del conocimiento educido. En un sistema experto, esto refiere a que todos los componentes del sistema experto operacional están desarrollados, pero sin la amplitud ni profundidad que la versión final necesitará. Se debe, sin embargo, encontrar el conjunto de estándares mínimos de funcionamiento en la definición del dominio. El conocimiento basal, entonces, es el conjunto de reglas y definiciones adecuadas para producir actividad basal.

2.5.3 Metodología de Weiss y Kulikowski.

Para el desarrollo de un sistema experto Weiss y Kulikowski (Kulikowski, 1984) sugieren las siguientes etapas.

Etapa 1. Planteamiento del problema.

La primera etapa es la definición del problema a resolver. Puesto que el objetivo principal de un sistema experto es responder a preguntas y resolver problemas, esta etapa es quizás la más importante en el desarrollo de un sistema experto. Si el sistema está mal definido, se espera que el sistema suministre respuestas erróneas.

Etapa 2. Encontrar expertos humanos que puedan resolver el problema.

Es necesario encontrar expertos en el dominio con el objetivo de resolver el problema existente. En algunos casos, las bases de datos pueden jugar el papel de un experto humano.

Etapa 3. Diseño de un Sistema Experto.

Esta etapa incluye el diseño de estructuras para almacenar el conocimiento, el motor de inferencia, el subsistema de explicación, la interfaz de usuario, etc.

Etapa 4. Elección de la herramienta de desarrollo.

Debe decidirse si realizar un sistema experto a medida utilizando lenguaje de programación o valorar si utilizar un shell.

Etapa 5. Desarrollo y prueba de un prototipo.

Si el prototipo no pasa las pruebas requeridas, las etapas anteriores (con las modificaciones apropiadas) deben ser repetidas hasta que se obtenga un prototipo satisfactorio.

Etapa 6. Refinamiento y generalización.

En esta etapa se corrigen los fallos y se incluyen nuevas posibilidades no incorporadas en el diseño inicial.

Etapa 7. Mantenimiento y puesta al día.

En esta etapa el usuario plantea problemas o defectos del prototipo, corrige errores, actualiza el producto con nuevos avances, etc.

2.5.4 Metodología IDEAL.

Este método fue desarrollado por Pazos (Pazos, 1996) en la Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Madrid y consta de las siguientes fases:

Fase 1. Identificación de la tarea.

La fase 1 considera la definición de los objetivos del proyecto de sistema experto y determinar si la tarea asociada es susceptible de ser tratada con la tecnología de Ingeniería del Conocimiento. En caso afirmativo se definen las características del problema, se especifican los requisitos que enmarcan la solución del problema. Esta fase se subdivide en las siguientes etapas:

Etapa 1.1. Plan de requisitos y adquisición de conocimientos.

Lo primero que debe hacer el ingeniero de conocimiento es tratar de identificar las necesidades del cliente describiendo para ello, los objetivos del sistema. Para confeccionar el plan de requisitos es necesario comenzar con la adquisición de conocimientos, entrevistándose con directivos, expertos y usuarios.

Etapa 1.2. Evaluación y selección de la tarea.

Esta etapa, que conforma el «estudio de viabilidad», se lleva a cabo realizando la evaluación de la tarea, cuantificando dicha evaluación para ver que grado de dificultad presenta la tarea. Existen varias formas de llevar a cabo dicha evaluación. Esta etapa es fundamental para evitar a *priori* fallas.

Etapa 1.3. Definiciones de las características de la tarea.

Aquí, se establecen y, eventualmente, definen las características más relevantes asociadas con el desarrollo de la aplicación. Con la definición de esta fase, los ingenieros de conocimiento, los expertos, usuarios y directivos, consiguen perfilar satisfactoriamente el ámbito del problema; definir coherentemente sus funcionalidades, rendimiento e interfaces; analizar el entorno de la tarea el riesgo de desarrollo del sistema experto. Todo ello hace que el proyecto se justifique y asegura que los ingenieros de conocimiento y los clientes tengan la misma percepción de los objetivos del sistema.

Fase 2. Desarrollo de los prototipos.

Concierne al desarrollo de los distintos prototipos que permiten ir definiendo y refinando más rigurosamente las especificaciones del sistema, de una forma gradual hasta conseguir las especificaciones exactas de lo que se puede hacer y como realizarlo. La construcción relativamente rápida de un prototipo de demostración permitirá al ingeniero de conocimiento, al experto y directivos comprobar la viabilidad de la aplicación y comprender mejor los requisitos de los usuarios y las especificaciones del sistema. Es decir, conocer mejor la problemática de la aplicación.

Etapa 2.1. Concepción de la solución.

Esta etapa tiene como objetivo producir un diseño general del sistema prototipo. Inicialmente, el ingeniero de conocimiento y el experto estudian las especificaciones parciales del sistema y el plan del proyecto obtenidas en la fase anterior y, en base a ellos, producen un diseño general. Esta etapa engloba dos actividades principales: el desarrollo del diagrama de flujo de datos (DFD) y el diseño arquitectónico del sistema.

Etapa 2.2. Adquisición de conocimientos y conceptualización de los conocimientos.

Aunque la adquisición de conocimientos es una actividad que impregna toda la ingeniería de conocimiento, desde que se inicia el estudio de viabilidad hasta que finaliza el uso del sistema experto desarrollado, es en esta etapa donde adquiere su mayor uso. La adquisición, en sus dos facetas de extracción de los conocimientos públicos de sus fuentes (libros, documentos, manuales de procedimientos) y la educción de los conocimientos privados de los expertos, se alterna cíclicamente con la etapa de conceptualización para modelizar el comportamiento del experto.

Etapa 2.3. Formalización de los conocimientos.

Esta etapa presenta dos actividades fundamentales:

- ✓ La selección de los formalismos para representar los conocimientos que conforman la conceptualización obtenido en la etapa anterior.
- ✓ La realización del diseño detallado del sistema experto.

La formalización o representación de los conocimientos, se encuentra ligada con los tipos de conocimientos más apropiados para su representación y las herramientas disponibles en su desarrollo.

Etapa 2.4. Selección de la herramienta e implementación.

Si en la etapa anterior se seleccionó una herramienta de desarrollo adecuada y el problema se ajusta a ella y viceversa, la implementación es inmediata y automática.

En otro caso, es necesario programar, al menos, parte del sistema basado en conocimiento, con las dificultades y problemas que implican cualquier implementación.

Etapa 2.5. Validación y evaluación del prototipo.

La fiabilidad de los resultados es, tal vez, el punto más sensible de todo sistema experto y por tanto su punto crítico. Es una de las tareas más difíciles dado que estos sistemas están construidos para contextos en los que las decisiones son, en cierta medida, discutibles. Sin embargo, existen técnicas que permiten realizar esta validación de una forma satisfactoria. Para ello, se deben realizar las siguientes acciones, independientes entre sí pero complementarias:

Etapa 2.6. Definición de nuevos requisitos, especificaciones y diseño.

Como ya se ha mencionado, los sistemas basados en conocimiento (SBC) se construyen de forma incremental, primero un prototipo de investigación, que se convierte en un prototipo de campo para, finalmente, resultar un prototipo de operación. Esta etapa se corresponde con la definición de los requisitos, especificaciones y diseño del siguiente prototipo, que para ser construido deberá pasarse, de nuevo, por las etapas 2.1 a 2.5. Esta fase acaba con la obtención del sistema experto completo (Pazos, 1996).

Nota. Las etapas 2.1 a 2.6 se repiten por cada iteración del prototipo.

Fase 3. Ejecución de la construcción del sistema integrado.

Etapa 3.1. Requisitos y diseño de la integración.

Etapa 3.2. Implementación y evaluación del sistema integrado.

Etapa 3.3. Aceptación del sistema por el cliente.

Fase 4. Actuación para conseguir el mantenimiento perfectivo.

Etapa 4.1. Definir el mantenimiento del sistema global.

Etapa 4.2. Definir el mantenimiento de las bases de conocimiento.

Etapa 4.3. Adquisición de nuevos conocimientos.

Fase 5. Lograr una adecuada transferencia tecnológica.

Etapa 5.1. Organizar la transferencia tecnológica.

Etapa 5.2. Completar la documentación del SBC construido.

2.6 Shells para desarrollar sistemas expertos.

Un Shell es un sistema experto que contiene la máquina de inferencia, la interface con el usuario y la base de conocimiento vacía y puede ser empleado en la creación de diversos SE (Bello, 2005).

Un Shell de SE (conocido como intérprete) también es visto como un grupo de paquetes y herramientas de software utilizados para diseñar, desarrollar, poner en operación y mantener un SE, donde el usuario introduce los datos o parámetros apropiados y el SE proporciona el resultado para el problema o situación. No existe ningún Shell para todas las aplicaciones. Los shells permiten una manera racional y rápida para desarrollar el SE:

- ✓ Separa la base de conocimiento de los procedimientos que usan el conocimiento.
- ✓ La base de reglas y hechos deben cumplir cierto formalismo, para ser entendidos por el shell.
- ✓ Los resultados son aceptables en el mismo dominio de aplicación.
- ✓ Disminuye el trabajo de programación.

A continuación se mencionan algunos de los principales shells para diseñar SE:

2.6.1 Humble.

Humble es un Shell orientado a objetos para SE escrito en Smalltalk que combina reglas con encadenamiento hacia delante y hacia atrás con representación de objetos, paso de mensajes y uso de objetos.

La característica principal de Humble es que las reglas operan sobre entidades. Las entidades son un importante tipo de objeto que tiene una representación específica. En las aplicaciones las entidades se categorizan en un número de tipos diferentes los cuales son definidos por el desarrollador o por el Ingeniero de conocimientos (Sánchez, 1990).

2.6.2 EMYCIN.

EMYCIN es acrónimo de Empty MYCIN (MYCIN vacío); este Shell fue creado a partir de MYCIN, uno de los SE más exitosos en la época de los setenta. Se construyó con el fin de que fuera usado para otros fines, además del diagnóstico de enfermedades en la sangre (objetivo para el cual fue creado). Este Shell utiliza un lenguaje, llamado ARL, el cual es una notación de Algol y provee facilidades para monitorear el comportamiento de reglas. Sin embargo es difícil distinguir diferentes tipos de conocimiento por lo que agregar una nueva regla también se vuelve un proceso complicado.

2.6.3 Gold Works II.

Esta herramienta de programación creada por Gold Hill Computers Inc. se ejecuta bajo LISP y utiliza la metodología orientada a objetos. Este programa corre en computadoras IBM compatibles, Macintosh y estaciones de trabajo Sun. Las características que realzan a este programa incluyen una herramienta dinámica de gráficos que permite la creación de imágenes activas así como también permite desarrollar interactivamente interfaces gráficas dinámicas sin tener que escribir ni una línea de código. Se integra fácilmente con C (Knight & Rich, 1991).

Existen otros Shell como: ART, LOOPS, KEE, KAS, ARIES y el CLIPS, que además de ser un lenguaje de programación para SE es un Shell.

2.7 Sistema expertos existentes para la minería en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) y a nivel internacional.

En el ISMMM existen dos tendencias de trabajos sobre sistemas expertos para la minería, estos son:

- ✓ Prototipo de Sistema Experto para seleccionar Métodos y Máquinas de Perforación.
- ✓ Prototipo de Sistema Experto para seleccionar Máquinas de Excavación – Carga**.**

El trabajo titulado **"Prototipo de Sistema Experto para seleccionar Métodos y Máquinas de Perforación"** tiene como objetivo desarrollar e implementar un prototipo de Sistema Experto para automatizar la selección de los métodos y máquinas de perforación y el cálculo de los parámetros de perforación en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, en este trabajo el autor plantea que el proceso de selección de métodos y máquinas de perforación desarrollado por expertos en perforación es una tarea agotadora que puede durar semanas, cuando en determinadas ocasiones urgen los resultados en tiempos extremadamente cortos por lo que decide implementar un sistema automatizado basado en los métodos de perforación utilizados en dichos yacimientos(Torres, 2009).

El trabajo titulado **"Prototipo de Sistema Experto para seleccionar Máquinas de Excavación – Carga"** tiene como objetivo desarrollar e implementar un prototipo de Sistema Experto para automatizar la selección de las máquinas de excavación-carga y el cálculo de los parámetros de trabajo de estas en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, donde plantea que en dicha empresa para el laboreo de sus reservas se utilizan un conjunto de maquinarias entre las que se encuentran las máquinas de excavación-carga, el empleo de estas máquinas viene antecedido por un proceso selectivo que tiene en cuenta un conjunto de indicadores, que determinan cual es la más adecuada para un proceso de excavación determinado, sin embargo dicho proceso se efectúa de forma manual lo cual implica dificultades para el desarrollo productivo, por lo que pretende facilitar el proceso de selección de las máquinas de excavación-carga, a través de la implementación de un sistema informático que ejecute dicho proceso selectivo (Caballero, 2009).

A nivel internacional.

- ✓ Sistema Experto para camión y excavadora hidráulica, en minas superficiales:

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema para seleccionar camiones y excavadoras hidráulicas en minas exteriores (Kirmanli, 2009).

Conclusiones Parciales.

En este capítulo se analizaron detalladamente todo lo referente a Sistemas Expertos, su estructura, ventajas, características, lenguajes existentes y se explicaron brevemente las metodologías y herramientas escogidas para desarrollar dicho sistema.

CAPÍTULO 3. "Implementación del Sistema Experto".

- **Introducción.**
- **Estudio de viabilidad.**
- **Justificación de la metodología desarrollada.**
- **Fundamentación de las herramientas escogidas.**
- **Características del Sistema.**
- **Requisitos funcionales del Sistema.**
- **Adquisición de conocimientos.**
- **Etapa de conceptualización.**
- **Etapa de Formalización.**
- **Etapa de Implementación.**
- **Etapa de Prueba.**
- **Conclusiones Parciales.**

Introducción.

En la actualidad se cuenta con un procedimiento para recuperar las áreas degradadas en canteras de materiales de la construcción en la provincia de Santiago de Cuba donde se deben definir los "tipos de recuperación" a aplicar a cada unidad del espacio. Este proceso puede durar varias semanas, ya que el proceso se realiza de forma manual, y por tanto, la selección de un tipo de recuperación minera no significa que sea la más efectiva y es necesario conocer los resultados para dar inicio al desarrollo del procedimiento, para darle solución al problema se propone desarrollar un prototipo de Sistema Experto para determinar el tipo de uso a aplicar en una cantera a partir de los datos obtenidos en el estudio realizado por el ingeniero en minas. Este capítulo tiene como objetivo principal presentar el desarrollo de la metodología donde se realiza el estudio de viabilidad, se determinan los requisitos funcionales, las características que tendrá el sistema y se desarrolla un caso de prueba para evaluar la funcionalidad del software.

3.1. Estudio de viabilidad.

En esta etapa se realiza un estudio de viabilidad que determina si el problema planteado puede o no ser resuelto a través de un Sistema Experto. Se utiliza para ello el Test de Viabilidad propuesto por la Metodología Ideal.

Este Test utiliza las siguientes dimensiones:

1) **Plausibilidad:** Uno de los requisitos más importantes, por ser condición necesaria, es que existan verdaderos expertos en el área del problema. Estos expertos deben estar totalmente disponibles para trabajar en el proyecto. Además es imprescindible que el experto sea cooperativo y capaz de articular sus conocimientos y modos de razonamiento. Aquí es crítico disponer de un conjunto de casos de prueba que permitan observar in situ como los expertos resuelven el problema, de manera que sea más sencillo entender el proceso real tal como es, así como los conocimientos reales que utilizan.
2) **Justificación:** El esfuerzo de desarrollo de un sistema experto se justifica por ejemplo cuando la tarea del experto debe realizarse en entornos hostiles o peligrosos, por lo que no se desea mantener un experto humano en el lugar, o bien, cuando los expertos humanos escasean y una empresa necesita expertos en distintas ubicaciones a la vez. Otra justificación para el desarrollo de un sistema experto es la rotación de personal, por ejemplo, por jubilación y la experiencia adquirida está a punto de perderse.
3) **Adecuación:** Para que el desarrollo de un sistema experto resulte adecuado, el problema a resolver debe poseer ciertas características intrínsecas, como por ejemplo cuando se necesitan unos conocimientos que son subjetivos, cambiantes, simbólicos, dependientes de los juicios particulares de las distintas personas, o son de naturaleza heurística, etc. Si se cumple alguna de las condiciones mencionadas entonces el problema se ajusta para ser tratado con la INCO.
4) **Éxito:** Existen otras cuestiones no técnicas a tener en cuenta para decidir aplicar la Ingeniería del Conocimiento en la resolución de un problema, como por

ejemplo, la mentalización de los responsables de modo que los recursos humanos y materiales estén comprometidos en lograr la solución, que las personas implicadas sean lo suficientemente entrenadas, que el sistema experto esté ubicado en el lugar correcto para cumplir su función, que los usuarios lo acepten como una herramienta que mejora su calidad laboral, y que los expertos coincidan en la escuela de pensamiento acerca del problema a resolver (Rizzi, 2001).

3.1.1 Justificación del análisis de viabilidad.

Justificación de la dimensión Plausibilidad.

Existen expertos en el área de la minería que poseen experiencia y destreza en relación al tema de rehabilitación minera.

Estos especialistas manifiestan total disponibilidad al cooperar en la realización del prototipo, pues muestran interés y una actitud positiva ante el desarrollo del mismo.

En cuanto a la selección de la tarea consideramos que está bien estructurada ya que se identificaron las mayorías de las funciones que debe cumplir el sistema.

Justificación de la dimensión Justificación.

Se necesita un sistema que pueda determinar el tipo de recuperación que se debe aplicar a una cantera y apoya notablemente el trabajo del ingeniero en minas.

Con la recopilación de la experiencia y conocimiento de varios expertos se puede llegar a un mejor resultado. Esta herramienta aminorará el trabajo de estos especialistas sin restarle la calidad que requiere el desempeño de esta actividad para la obtención de los resultados.

Justificación de la dimensión Adecuación.

Se requiere obligatoriamente de un experto, persona con experiencia y que haya trabajado directamente en este entorno.

El problema puede ser dividido en subproblemas con el fin de hacer el prototipo más factible, estos serían:

- ✓ Determinar los aspectos que se tienen en cuenta para determinar el área degradada.

- ✓ Definir las acciones que se realizan en el terreno.
- ✓ Determinar los factores que se afectan según la acción realizada en el terreno.
- ✓ Determinar los aspectos que se tienen en cuenta para determinar el tipo de recuperación.
- ✓ Definir las características que se debe aplicar al terreno para obtener el tipo de explotación.

Justificación de la dimensión Éxito.

La solución de este problema tiene significativa importancia para la industria minera y principalmente para nuestro país ya que hoy en día es necesario recuperar las áreas degradadas para abastecer a la población de las materias primas necesarias con el fin de mejorar su calidad de vida, su progreso y su destino.

Los conocimientos se encuentran repartidos entre un pequeño grupo de personas, estas poseen un nivel similar de conocimientos por lo que no se hace necesaria su presencia simultánea a la hora de realizar el proceso.

Disponibilidad de los recursos necesarios para la realización del prototipo de SE (computadoras y software adecuados, para el desarrollo del trabajo, libros y documentación necesaria, personas capacitadas en el tema).

Teniendo en cuenta el estudio de las características anteriores llegamos a la conclusión de que el desarrollo del prototipo de SE si es viable, porque nuestro sistema cumple con las cuatro dimensiones que han sido estudiadas.

3.2 Justificación de la metodología de desarrollo seleccionada.

Después de realizar un estudio detallado de las metodologías existentes para desarrollar sistemas expertos, decidimos utilizar como metodología de desarrollo la **Metodología IDEAL,** porque propone que el este se desarrolle de manera incremental, lo que significa que los requisitos están sometidos a constantes cambios y por ende el sistema también, como consecuencia se obtiene un producto en constante evolución que puede considerarse como un prototipo de SE en constante perfeccionamiento, esto permite que se puedan agregar nuevas funcionalidades.

Se decide desarrollar el SE hasta la fase 2, porque es la primera aproximación para la solución del problema.

3.3 Fundamentación de los lenguajes y herramientas escogidas.

Para la implementación de la máquina de inferencia se utiliza **ClipsWin versión 6.4**, ya que es una herramienta que provee un ambiente de desarrollo para la producción y ejecución de SE. Permite manejar una amplia variedad de conocimientos, CLIPS contiene funcionalidades que permiten verificar las reglas incluidas en el sistema experto que está siendo desarrollado.

Se escoge como lenguaje de programación **Java,** porque como la herramienta **CLIPS** no presenta una interfaz visual amigable, fue necesario invocar código CLIPS en Java. Este último es un lenguaje moderno de alto nivel, que recoge los elementos de programación que típicamente se encuentran en todos los lenguajes de programación, permitiendo la realización de programas profesionales.

3.4 Definición de las características del sistema.

En esta etapa se determinaron las características que el sistema debe poseer, tales como:

- ✓ Para determinar el tipo de área degradada es necesario conocer los aspectos que va a tener el terreno a clasificar.
- ✓ Para determinar el tipo de uso que se puede aplicar al terreno se debe conocer el tipo de explotación minera aplicada y las características que van a permitir que se aplique dicha recuperación.
- ✓ Para determinar los factores afectados es necesario conocer la acción que se va aplica.
- ✓ Para determinar el impacto se deben conocer los factores afectados.
- ✓ Para determinar la medida correctora a aplicar se debe conocer el factor afectado y el impacto que ocurre.
- ✓ Para determinar el tipo de uso final se debe conocer los aspectos que tiene el terreno ya después de realizada la explotación.

- ✓ El sistema no brindará explicaciones al usuario si no ha efectuado el proceso selectivo.

3.5 Requisitos funcionales.

En las primeras reuniones con el experto se determinaron los requisitos funcionales que el sistema va a tener, los cuales son:

R.1. Determinar tipos de áreas degradadas.

- ✓ Área explotada.
- ✓ Área de depósitos de desechos y estériles.
- ✓ Área de infraestructura.

R.2. Justificar el tipo de área degradada.

R.3. Proponer tipos de recuperación que se pueden aplicar.

- ✓ Agrícola
- ✓ Forestal
- ✓ Hábitat natural
- ✓ Recreativo
- ✓ Urbanístico
- ✓ Industrial

R.4. Determinar tipo de recuperación que decide aplicar.

- ✓ Agrícola
- ✓ Forestal
- ✓ Conservación de la naturaleza
- ✓ Recreativo y deportivo
- ✓ Industrial.
- ✓ Vertederos de basura y estériles

R.5. Justificar tipo de recuperación.

R.6. Determinar impactos según factores afectados.

- ✓ Eliminación de la capa vegetal.

- ✓ Transformación del paisaje.
- ✓ Nidificación y alimentación.

R.7. Determinar medidas correctoras según impactos.

- ✓ Realizar la extracción selectiva del suelo.
- ✓ Implementar medidas para reducir la visibilidad de la cantera.
- ✓ Evitar las actividades ruidosas en períodos de crías.

R.8. Justificar medida correctora.

R.9. Mostrar datos generales de las canteras.

- ✓ Nombre
- ✓ Relieve
- ✓ Pendiente
- ✓ Presencia de ríos
- ✓ Materia prima
- ✓ Área minada no recuperada
- ✓ Área concesionada
- ✓ Área minada
- ✓ Área rehabilitada
- ✓ Área por rehabilitar
- ✓ Proyecto de rehabilitación

3.6 Adquisición de conocimientos.

Para poder adquirir el conocimiento, se realizaron las primeras reuniones con el experto, estas reuniones permitieron determinar los objetivos del SE, definir el alcance y ámbito del proyecto, el compromiso de participación del experto, obtener información para desarrollar el estudio de viabilidad del proyecto, determinar la estrategia para la extracción del conocimiento y determinar los requisitos funcionales.

En el proceso de adquisición, se estudió la documentación existente. En este estudio se prende sobre todo el proceso que se lleva a cabo en la rehabilitación minera, sobre los aspectos que se tiene en cuenta para determinar el tipo de recuperación a aplicar,

sobre los impactos que repercuten en el medio ambiente por las acciones realizadas en los yacimientos lo cual ha permitido estudiar y asimilar conocimientos, que han favorecido la interrelación con los expertos.

En el ciclo de educción de conocimientos, se ha obtenido los conocimientos genuinamente privados de los expertos. La educción es, especialmente, el proceso de interacción con un experto humano, con el propósito de construir un SE. El proceso de educción puede dividirse en dos etapas fundamentales: el interrogatorio inicial, y la investigación profunda. En el interrogatorio inicial, se ha tratado de obtener una visión general de alto nivel del dominio, donde se ha comprendido el alcance del dominio, la tarea de los expertos y el entorno de la tarea.

En el proceso de investigación profunda se ha tratado de obtener una visión de muy bajo nivel del dominio, donde se llega a comprender el verdadero proceso de la tarea que desempeñan los expertos.

Este ciclo de educción nos ha permitido determinar el orden en que se va a desarrollar el procedimiento, obtener detalladamente los aspectos y características que se tienen en cuenta para clasificar las áreas degradadas y principalmente aclarar todas las dudas existentes en la extracción de los conocimientos.

Para poder tener los elementos suficientes para conformar la base de conocimientos (BC), se aplicaron tipos de encuestas a los 3 participantes (ver Apéndice C).

- ✓ **Encuesta #1:** Selección de las características para clasificar las canteras.
- ✓ **Encuesta #2:** Selección de las acciones y aspectos que se realizan en los yacimientos.

Fase2: Desarrollo de los prototipos de demostración, investigación, campo y operacional

Para desarrollar el prototipo de SE es necesario seguir esta secuencia de pasos fundamentales:

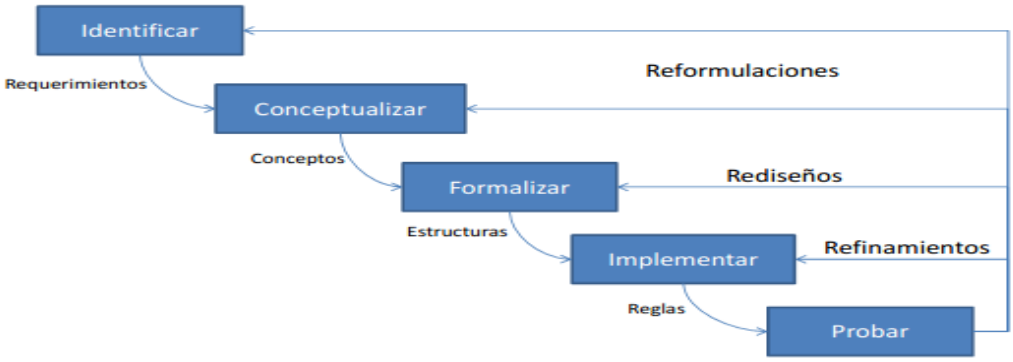


Figura 1: Pasos para el desarrollo del prototipo de sistema experto.

3.7 Etapa de Conceptualización.

Esta etapa consiste básicamente en el entendimiento del dominio del problema y de la terminología usada, como así también la modelización de la tarea que lleva a cabo el experto a la hora de resolver el problema.

Esta etapa permite al Ingeniero de Conocimiento conformar un marco inicial o mapa mental de los diferentes conocimientos del dominio que el experto utiliza durante la realización de su tarea.

Una vez que ha sido identificado el dominio, el siguiente paso consiste en estructurar los conocimientos para modelizar el comportamiento del experto en la solución del problema que son de su competencia.

Glosario de Términos.

En el glosario de términos se provee una tabla de términos y sus respectivas definiciones (ver Tabla1). Estos términos son aquellos que el usuario debe saber para poder comprender el dominio del sistema. Por ser estos términos parte del dominio del sistema definen muchos de los atributos de cada una de las taxonomías de riesgo para

el desarrollo de software. Es una herramienta que ayuda a comprender con mayor profundidad determinados conceptos que pueden prestar a confusión.

Tabla1: Glosario de Términos

Término	Descripción
Minería	Ciencia y técnica que usa los métodos más convenientes para la explotación de los yacimientos minerales (Burga, 2011).
Cantera	Minas a cielo abierto de las que se extraen materiales de la construcción (Benito, 1996).
Materiales de la construcción	Define como materiales de la construcción a todos los cuerpos o elementos que integran las obras de construcción, cualquiera que sea su origen, obtención industrial, composición y forma, siempre que reúna determinados requisitos técnicos específicos para su utilización, en función del tiempo (Aguado, 1990).
Rehabilitación minera	Se considera la recuperación del lugar alterado de acuerdo a un proyecto previo y en condiciones compatibles con el entorno, o sea reaprovecha el área para una nueva finalidad (comercial, agrícola, industrial, urbanística, recreativa, cultural) (Rubio, 1998).
Desbroce	Esta actividad consiste en la eliminación de la capa vegetal y paralelamente se realiza la conformación del terreno permitiendo la entrada de los equipos de arranque – carga (Belete, 2002).
Destape	Consiste en extraer y trasladar la capa superior de mineral (escombro) que por su bajo contenido de níquel y cobalto, no resulta conveniente procesarlo. Se deben realizar con antelación a los trabajos de arranque (Belete, 2002).
Escombrera	Lugar en el cual se deposita de manera temporal o definitiva el suelo de cobertura o se deposita el material que no ha sido considerado útil o comercializable, según el caso (Rubio, 1998).

Perforación	Un pozo vertical perforado en la tierra, generalmente con el fin de recoger muestras del suelo, muestras del agua subterránea, o corazones de la roca (Burga, 2011).
Impacto	Cambio (positivo o negativo) en el ambiente natural o en el ambiente del ser humano como resultado directo o indirecto de una acción o propuesta (Rubio, 1998).
Medida correctora	Acción destinada a enmendar lo que termina en algo perjudicial al ambiente, se pone en práctica después de manifestarse el impacto con el fin de llevar el medio afectado a una situación muy similar a la precedente (Rubio 1998).
In situ	En el lugar de origen, o su posición natural (Burga, 2011)
Hábitat	Conjunto de condiciones de medio ambiente y alimentarias necesarias para el desarrollo de los seres vivos, tales como clima, agua, temperatura, plantas, microorganismos, etc. (Burga, 2011).
Talud	Superficie inclinada del terreno que se extiende de la base a la cumbre de un cerro (Burga, 2011).
Pendiente	Superficie inclinada de un terreno. Sinónimo: talud, torrente, gradiente (Burga, 2011).

Tabla Concepto/ atributo/ valor.

En la Tabla Concepto/ atributo/ valor se exponen los conceptos que forman parte del dominio del sistema y los atributos que forman parte de estos conceptos. Los atributos a su vez pueden tomar diferentes valores y esto es lo que representa la columna valor de la tabla (Ver Tabla2).

Tabla2: Concepto/ atributo/ valor.

Concepto	Atributo	Valor
Cantera	Nombre	- Texto que indica nombre de la cantera.

	Relieve	- Semimontañoso - Poco accidentado - Algo accidentado - Llano - Elevaciones y quebradas secas - Colinas de gradientes suaves - Positivo - Abrupto
	Pendiente	- Suave - Horizontal - Inclinado - Abrupto
	Presencia de ríos	- Si - No
	Materia Prima	- Texto que indica nombre de la materia prima existente en la cantera.
	Área minada no recuperada	- Número real positivo que indica el área minada (en hectáreas) de la cantera no recuperada.
	Área concesionada	- Número real positivo que indica el área concesionada (en hectáreas) de la cantera.
	Área minada	- Número real positivo que indica el área

		minada (en hectáreas) de la cantera.
	Área rehabilitada	- Número real positivo que indica el área rehabilitada (en hectáreas) de la cantera.
	Área por rehabilitar	- Número real positivo que indica el área por rehabilitar (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	- Suelo - Relieve - Fauna - Flora - Aire - Agua - Atmósfera - Población

	Impacto	- Eliminación de la capa vegetal. - Transformación del paisaje. - Nidificación y alimentación. - Pérdida del hábitat y de las capacidades de refugio. - Aumento de los procesos erosivos. - Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna. - Remoción de la vegetación y deforestación. - Emisión del polvo al medio. - Alteración del drenaje superficial y subterráneo. - Pérdida de la vegetación. - Ruido. - Compactación del terreno. - Cambio de las propiedades físico químicas del agua.
	Medida correctora	- Realizar la extracción

		selectiva del suelo y garantizar las condiciones para su conservación y uso posterior en la rehabilitación. - Implementar medidas para reducir la visibilidad de la cantera. - Evitar las actividades ruidosas en períodos de crías o anidamiento de especies faunística. - Aplicar métodos de cuidado y vigilancia con el fin de minimizar las alteraciones sobre la vida silvestre en las distintas fases del sistema de explotación. - Establecer elementos que puedan desviar las regueras de las zonas más sensibles a la erosión como cunetas de guarda, piedra de escollera. - Producción de plantas en categorías de conservación y la reforestación con estas

		especies nativas. - Revegetar las áreas desnudas con vegetación gramínea y proteger los taludes. - Regar agua en los caminos para mitigar la contaminación del aire con el polvo proveniente de la actividad minera. - Establecer red de drenaje con canales perimetrales - Empleo de captadores de polvo - Revegetación con especies autóctonas. - Crear pantallas aislantes contra el ruido con el material de desecho. - Instalar sistemas de control de gases. - Transplantar en lo posible los árboles desarrollados a zonas próximas. - Reducir los cortes de terraplenes. - Realizar el saneamiento de las

		aguas residuales y domésticas implementando puntos de captación de sólidos, trampas de grasas. - Conservación y reutilización de las capas del suelo en la propia rehabilitación.
Tipo de área degradada	Nombre	- Área explotada. - Área de depósitos de estériles y desechos. - Área de infraestructura.
	Aspectos	- Excavaciones a cielo abierto, frentes de explotación, taludes, trincheras, pozos, galerías subterráneas, superficies removidas. - Pilas, cuerpos de escombreras, suelos superficiales, estériles, tanques de decantación de desechos de beneficiamiento. - Áreas de funcionamiento de unidades, áreas de almacenaje, expedición

		de mineral, vías de circulación, talleres de máquinas y equipos.
Tipo de explotación	Nombre	- Canteras a media ladera. - Canteras de excavación descendente. - Canteras en seco. - Canteras en húmedo.
	Características	- Zonas llanas y de poca pendiente. - Se aplica relleno.
	Tipo de uso que se puede aplicar	- Agrícola - Forestal - Hábitat natural - Recreativo - Urbanístico - Industrial
Tipo de recuperación	Aspectos	- Pendientes suaves. - Sistema de drenaje. - ·Suelo fértil bien reconstituido. - Tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad de agua y a las características del suelo. - Pendientes moderadas. - Selección de especies. - Modelado de orillas y

		excavaciones. - Estabilidad de los taludes. - Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado. - Accesos. - Proximidad a núcleos urbanos. - Medidas de seguridad para los usuarios. - Buen acondicionamiento de la excavación. - Infraestructuras.
	Tipos de usos	- Agrícola - Forestal - Hábitat natural - Actividades recreativas - Urbanístico e Industrial - Vertederos de sólidos

Mapa de Conocimientos.

El mapa de conocimientos se ha logrado como resultado del análisis de conocimientos fácticos realizado. Este refleja como está ubicado el conocimiento del experto.

En cada nodo del mapa de conocimientos se pueden destacar los atributos que pertenecen al dominio del sistema.

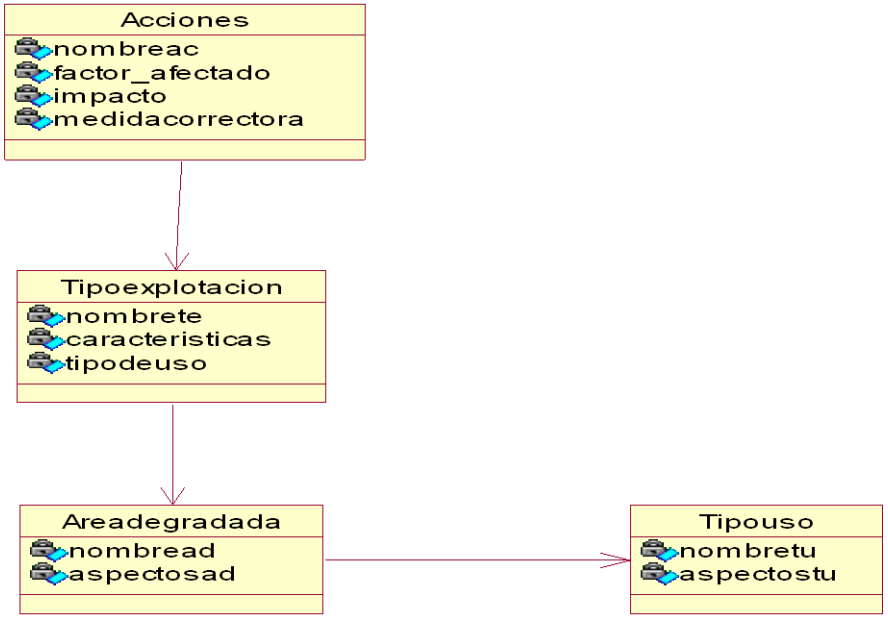


Figura 2: Mapa de conocimientos

3.8 Etapa de Formalización.

Se escogen las reglas de producción como Forma de Representación del Conocimiento ya que permiten representar fácilmente el lenguaje natural, expresar relaciones causales y modificar la base de conocimiento mostrando nuevas reglas sin alterar las existentes.

- ✓ **Reglas en lenguaje natural.**
  - **Áreas degradadas.**
    - Si incluyen excavaciones a cielo abierto, frentes de explotación, taludes, trincheras, pozos, galerías subterráneas y superficies removidas entonces el tipo de área degradada es explotada.

- Si incluyen cuerpos de escombreras, suelos superficiales, estériles y tanques de decantación de desechos de beneficiamiento entonces el tipo de área degradada es de depósitos de estériles y desechos.
- Si incluyen áreas de funcionamiento de unidades, área de almacenaje, expedición de mineral, vías de circulación y talleres de máquinas y equipos entonces el tipo de área degradada es de infraestructura.

- **Tipos de usos.**
  - Si existen pendientes suaves, sistema de drenaje, suelo fértil bien reconstituido y tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad de agua y a las características del suelo entonces el tipo de uso es agrícola.
  - Si existen pendientes moderadas, suelo fértil bien reconstituido, sistema de drenaje y selección de especies entonces el tipo de uso es forestal.
  - Si existen suelo fértil bien reconstituido, selección de especies y modelado de orillas y excavaciones entonces el tipo de uso es hábitat natural.
- **Tipos de explotación.**
  - Si el tipo de explotación es canteras a media ladera, existen zonas llanas y de poca pendiente entonces se puede aplicar el tipo de uso agrícola.
  - Si el tipo de explotación es canteras de excavación descendente entonces se puede aplicar el tipo de uso forestal.
  - Si el tipo de explotación es canteras en seco entonces se puede aplicar el tipo de uso agrícola.
- **Medida a aplicar según impactos.**
  - Si el impacto es eliminación de la capa vegetal entonces la medida correctora es realizar la extracción selectiva del suelo y garantizar las condiciones para su conservación y uso posterior en la rehabilitación.
  - Si el impacto es alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna entonces la medida correctora es la producción de plantas en categorías de conservación y la reforestación con estas especies nativas.

3.9 Etapa de Implementación.

En la figura 3 se muestra la arquitectura que va a tener el SE.

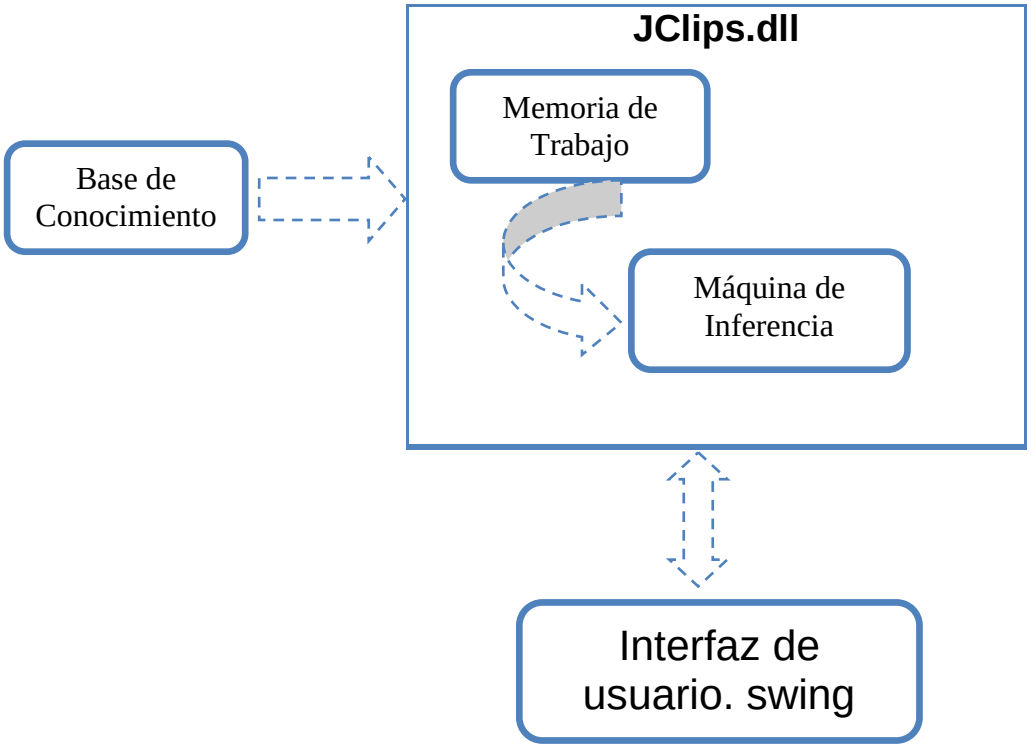


Figura3: Arquitectura del Sistema Experto propuesto.

Inicialmente el usuario inserta los datos en la interfaz visual, esta interfaz se conecta con Clips mediante la librería JClips, los hechos insertados son los que conforman la memoria de trabajo y van a activar las reglas que se encuentran en la base de conocimiento mediante la máquina de inferencia utilizando el encadenamiento hacia adelante, estas reglas van a generar nuevos conocimientos enviando una respuesta al usuario.

RMin: es un prototipo de sistema experto referente a la selección del tipo de recuperación minera, lo cual hace partiendo de determinados aspectos necesarios existentes en el terreno, acciones aplicadas al terreno y de las explotaciones realizadas. RMin además brinda explicaciones tanto intermedias como finales de cómo se llega a un determinado estado (solución) permitiendo que personal con poca experiencia pueda realizar la selección.

Su funcionalidad servirá para ser aplicada en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Una vez instalado el software en su PC, y ejecutado el mismo esta es la primera interfaz que aparecerá ante el usuario.

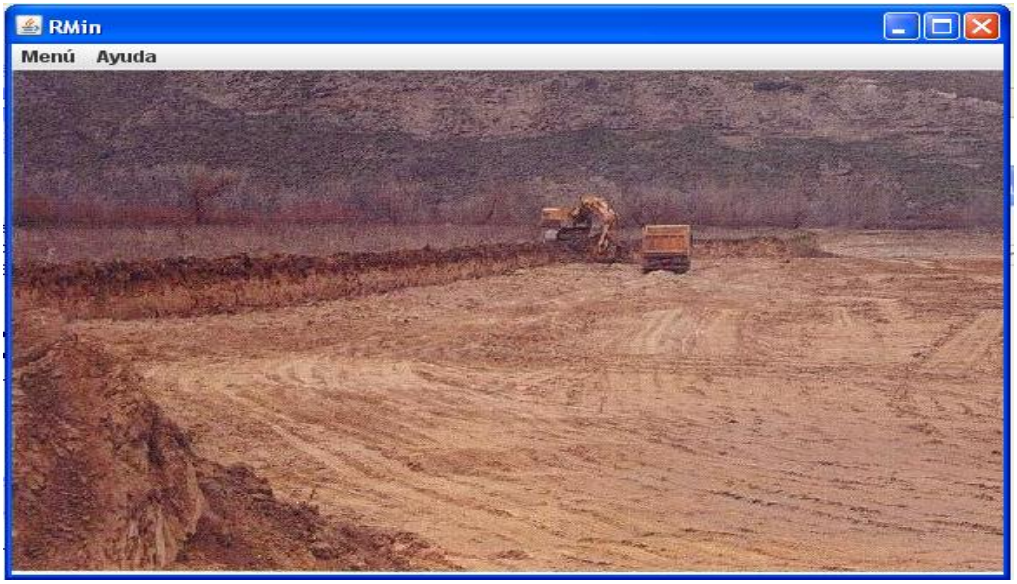


Figura 4: Interfaz principal.

Para continuar el usuario deberá hacer clic en el menú "Menú". Una vez pinchado en este aparecerá lo siguiente:

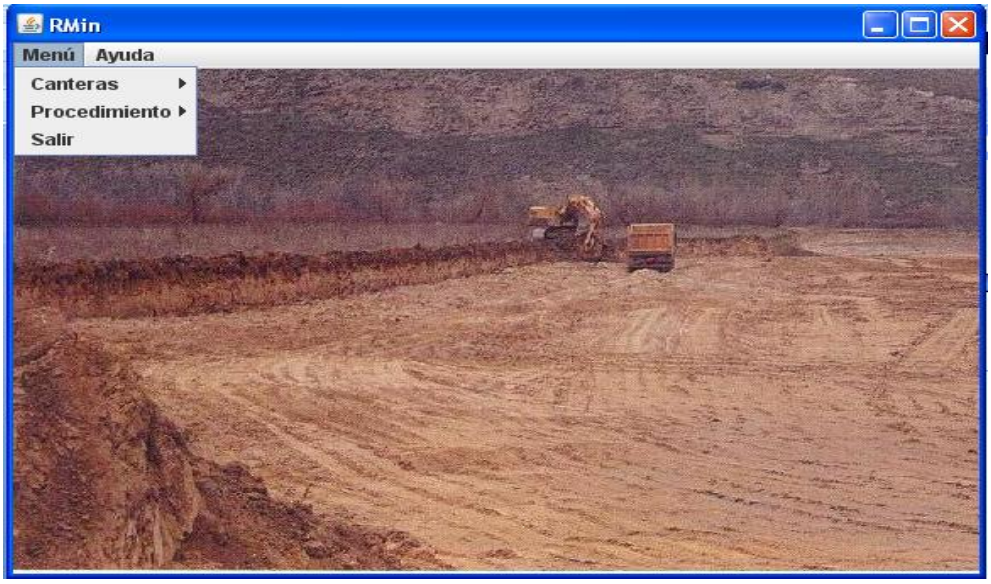


Figura 5: Interfaz principal con la opción Menú.

El usuario deberá dar clic en el Ítem Canteras y escoger la cantera deseada. Inmediatamente aparecerá la siguiente ventana:

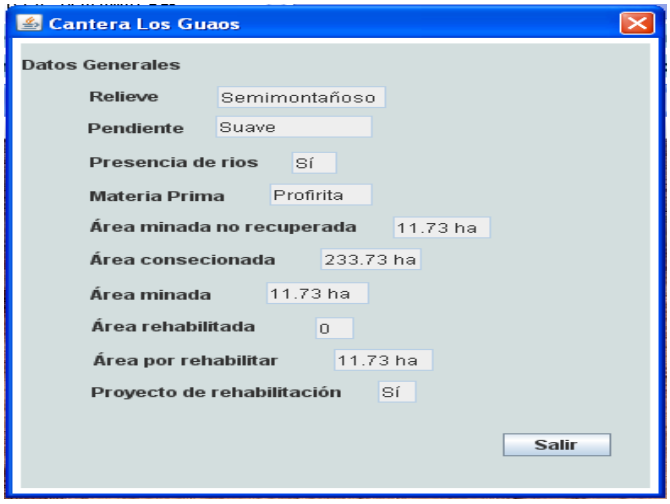


Figura 6: Datos de la cantera Los Guaos.

En esta ventana el usuario obtendrá los datos de cada cantera.

Una vez terminado el usuario de observar los datos deberá pinchar el botón

para realizar otra operación.

El próximo paso es clic en el menú "Menú" el Ítem "Procedimiento" y se observará varias opciones:

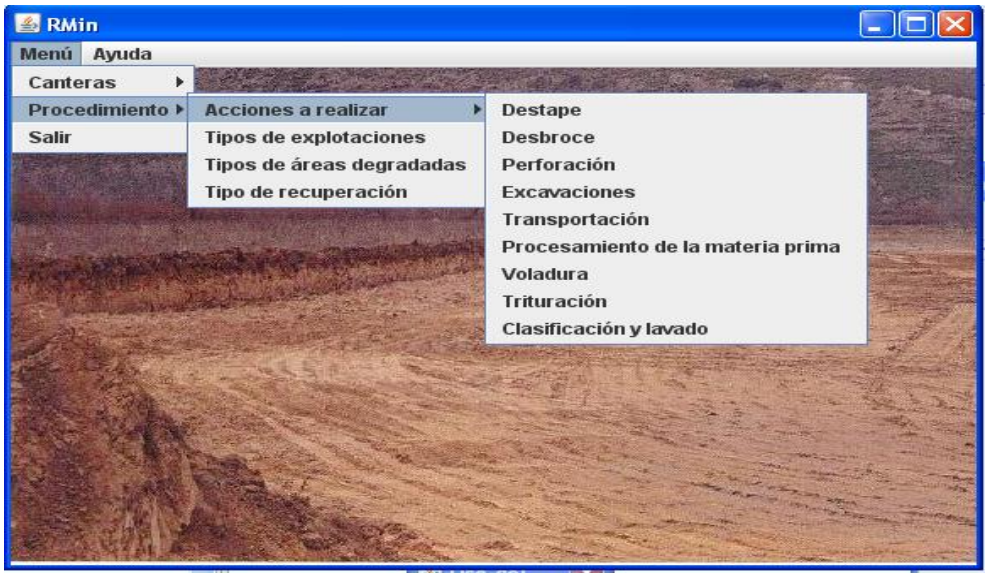


Figura 7: Interfaz principal con la opción acciones.

Inmediatamente el usuario escoge la opción acciones y elige la acción deseada y aparecerá la siguiente ventana:

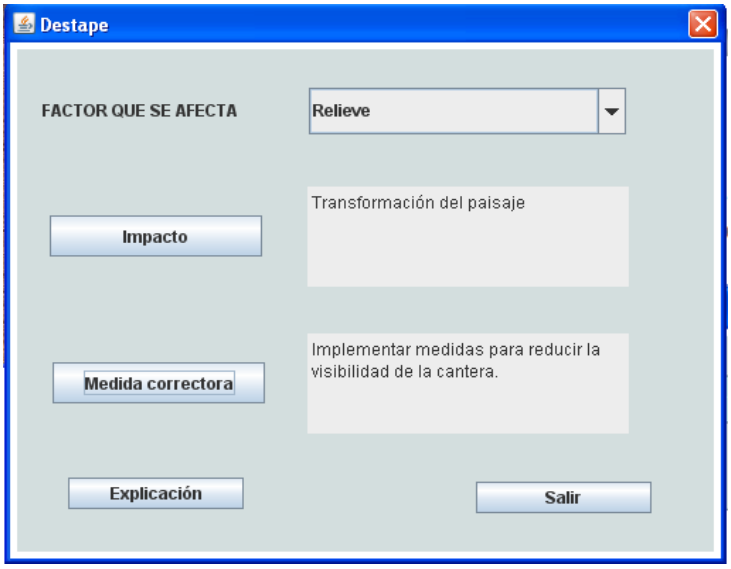


Figura 8: Interfaz para obtener impacto y medida correctora.

Para poder obtener el impacto y medida correctora el usuario debe escoger el factor que se afecta.

Luego el usuario escoge la opción tipo de explotaciones mineras y aparecerá la siguiente ventana:

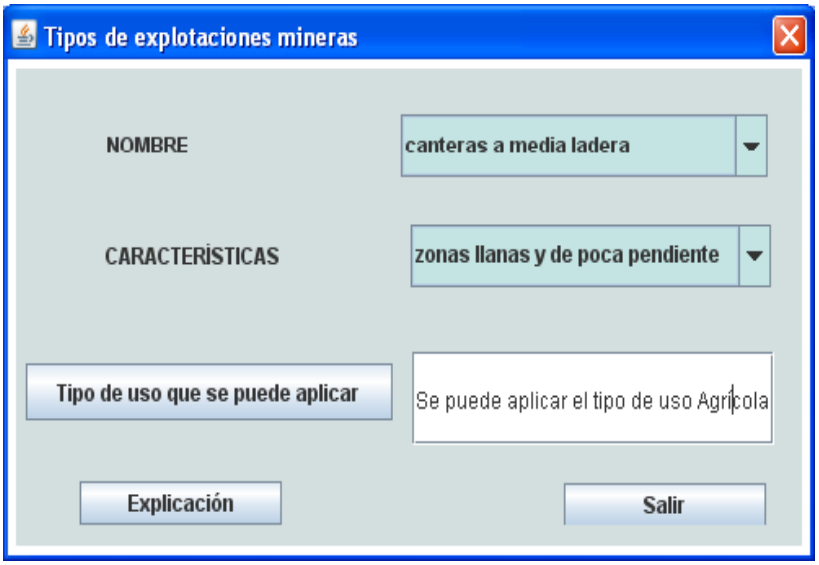


Figura 9: Interfaz para obtener el posible uso a aplicar.

Para poder obtener el tipo de uso que se puede aplicar se debe seleccionar el nombre del tipo de explotación y las características existentes.

Luego el usuario escoge la opción tipos de áreas degradadas y aparecerá la siguiente ventana:

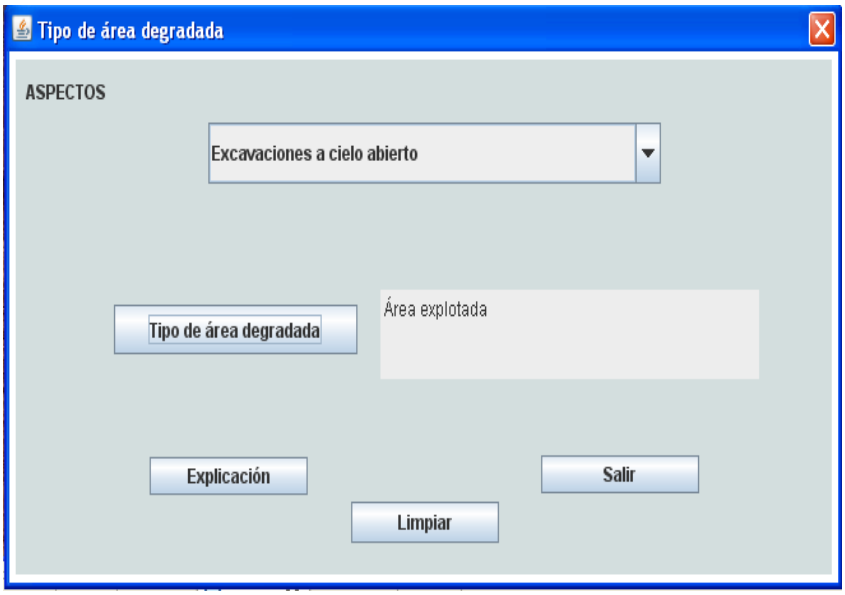


Figura 10: Interfaz para obtener el tipo de área degradada.

Para poder obtener el tipo de área degradada se debe seleccionar los aspectos necesarios encontrados en el yacimiento.

Luego el usuario escoge la opción **Tipo de recuperación** y aparecerá la siguiente ventana:

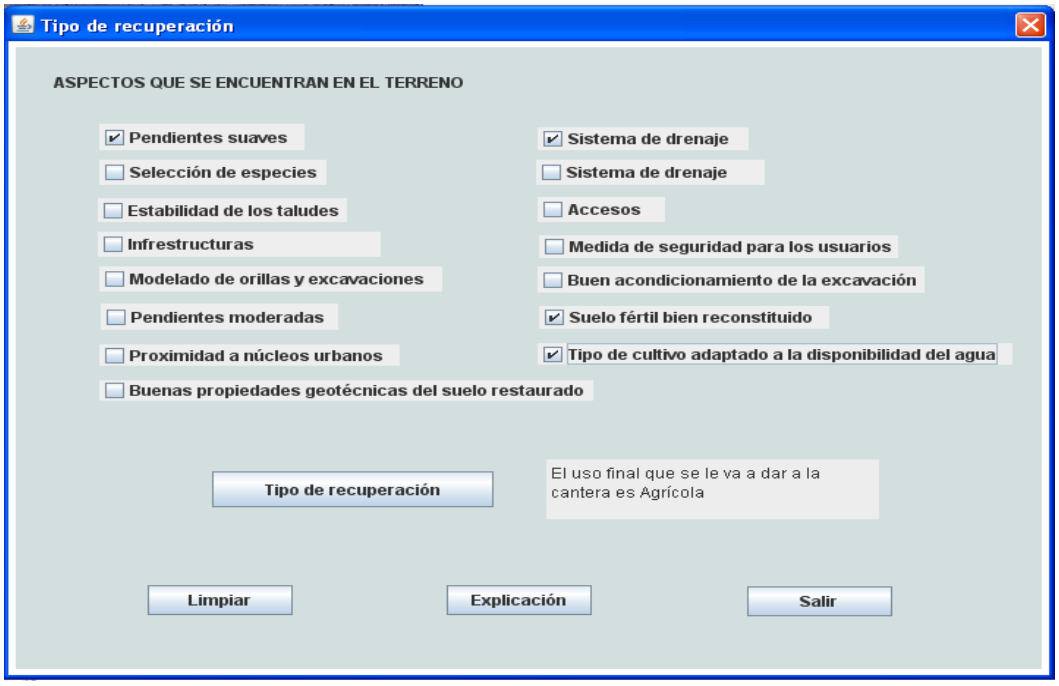


Figura 11: Interfaz para obtener el tipo de recuperación final.

Para poder obtener el tipo de recuperación final se debe haber hecho un estudio de todo el terreno y seleccionar los aspectos necesarios existentes en el mismo.

3.10 Etapa de Prueba.

En esta etapa se realizó un caso de prueba para comparar los datos de entrada al sistema y la salida que este brinda con los resultados que hubiera dado un experto humano.

Acciones a realizar en el terreno:

Tabla 3: Datos de entrada y salida al sistema de las acciones a realizar en el terreno.

Datos de entrada	Datos de salida
Nombre de la acción: Destape **Factor afectado:** Relieve	**Impacto:** Transformación del paisaje **Medida Correctora:** Implementar medidas para reducir la visibilidad de la cantera.

Posibles usos que se les da a las explotaciones mineras:

Tabla 4: Datos de entrada y salida al sistema de los posibles usos que se les da a las explotaciones mineras.

Datos de entrada	Datos de salida
Tipo de explotación: **Canteras a media ladera** **Características:** **Zonas llanas y de poca pendiente**	**Tipo de uso que se puede aplicar:** Se puede aplicar el tipo de uso Forestal

Clasificar tipo de área degradada:

Tabla 5: Datos de entrada y salida al sistema para clasificar tipo de área degradada.

Datos de entrada	Datos de salida
Aspectos: Frentes de explotación y taludes	**Tipo de área degradada:** Área explotada
Aspectos: Escombreras	**Tipo de área degradada:** Área de depósitos de estériles y desechos
Aspectos: Área de almacenaje y expedición del mineral Vías de circulación Talleres de máquinas y equipos.	**Tipo de área degradada** Área de infraestructura

Uso final de las áreas degradadas:

Tabla 6: Datos de entrada y salida al sistema del uso final de las áreas degradadas.

Datos de entrada	Datos de salida
Aspectos necesarios: Estabilidad de los taludes Buenas propiedades geotécnicas del	**Uso final:** Recreativo intensivo

suelo restaurado. Accesos Proximidad a núcleos urbanos Medidas de seguridad para los usuarios Buen acondicionamiento de la excavación	
Aspectos necesarios: Pendientes moderadas Suelo fértil bien reconstituido Sistema de drenaje Selección de especies	**Uso final:** Forestal

El experto está de acuerdo con los datos de salida que brinda el sistema, ya que muestra resultados precisos y cumple con los requisitos que debe de tener en cuenta el usuario a la hora de realizar una tarea.

Conclusiones Parciales

En este capítulo se desarrolló la Metodología IDEAL hasta la segunda fase ya que es la primera aproximación a la solución del problema existente y se ejecutaron las etapas de identificación, conceptualización, formalización, implementación y prueba para desarrollar el prototipo de SE.

CONCLUSIONES GENERALES

En este trabajo se analizaron aspectos importantes relacionados con el proceso de Rehabilitación Minera y los aspectos necesarios que se deben de tener en cuenta para la selección del tipo de recuperación, así como también se abordaron temas referentes a los Sistemas Expertos. Como resultado final de esta investigación se obtuvo un prototipo de Sistema Experto para seleccionar el tipo de rehabilitación más efectivo por lo que podemos arribar a las siguientes conclusiones:

- ✓ El conocimiento adquirido sobre el proceso de Rehabilitación Minera fueron formalizados mediante reglas de producción.
- ✓ El prototipo de Sistema Experto para seleccionar el tipo de recuperación constituye una herramienta informática que facilitará y favorecerá el trabajo de los mineros en el proceso de selección del tipo de recuperación minera.
- ✓ El prototipo de Sistema Experto realiza el proceso selectivo en menor tiempo y ayuda a que el trabajo de los mineros no sea tan agotador.
- ✓ Cuenta con una interfaz sencilla, agradable, el ambiente de trabajo es cómodo y cumple los requerimientos exigidos por el cliente.
- ✓ La interfaz de usuario tiene incorporado un sistema de explicación que brinda respuestas a las preguntas del usuario.

RECOMENDACIONES

El Sistema desarrollado es un prototipo demostrativo que no cubre todos los problemas reales que presenta la selección del tipo de recuperación.
Con vista al desarrollo futuro del sistema nos permitimos recomendar:

- ✓ Utilizar el sistema propuesto en la selección del tipo de recuperación en el departamento de minería del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- ✓ Incluirle al sistema lógica difusa para el tratamiento de incertidumbre.
- ✓ Añadirle un mecanismo para incluir conocimiento al sistema y actualizar la base de conocimientos.

BIBLIOGRAFÍA

Aguado Crespo, Fernando.(1990) *Materiales de construcción I.* La Habana: Editorial Pueblo y educación, 257p.

Aguilera, I. (2003). *Estudio del impacto ambiental ocasionado por la explotación del yacimiento fluvial de arena y grava "Río Nibujón".* Tesis Presentada en Opción al Título Académico de Máster en Ciencias Geológicas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Andrea Huenelaf, P., & Huatatoca, X. (2006). *Propuesta de Recuperación Ambiental del Yacimiento Polimetálico Santa Lucía.* Tesis de grado, Universidad de Pinar del Río "Hnos. Saiz Montes De Oca".

Anguera González, M. (2005). *El plan de restauración de una cantera de caliza*. Departamento de explotación de recursos minerales y obras subterráneas de Valencia.

Bañares, J. A. (1998). *Herramientas para las Asignaturas del IAIC.* [en línea]1998.[Consultado :2008-12-15] Disponible en http://diana.cps.unizar.es/banares/IA/noticias.html.

Belete Fuentes, Orlando. 2002.*Breves Reseñas Históricas* . 2002. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Bello Peréz, R. (2005). *Curso Introductorio a la Inteligencia Artificial.* Departamento de Ciencia de la Computación Universidad Central de Las Villas. Cuba.

Benito, A. (1996**);** et al. *Manual de Rocas Ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración, Colocación.* 2 ed. Madrid, 696 p.

Blanco Fernández, D. (2011). *Restauración de una cantera de áridos mediante cambios de uso: extractivo-vertedero de residuos de construcción y demolición (RCD)-forestal.* Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Bratko, I. (1999). *Prolog programming for Artificial Intelligence* (Segunda ed.). New York: Addison Wesley.

Burga Dávila, Jorge. (2011). *Diccionario Geológico*. Arthaluna, Grouting, Geotechnical Instrumentation.

Caballero Feria, D. (2009). *Prototipo de Sistema Experto para seleccionar Máquinas de Excavación-Carga.* Tesis de grado,Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Carbonell Vega, F. (2003). *Evaluación del impacto ambiental que se genera durante la explotación del yacimiento la Yaya y en el proceso industrial de la calera.*Tesis de maestria, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

Carrillo Verdun, J. D. (1987). *Metodología para el desarrollo de sistemas expertos.* Madrid.Tesis Doctoral. Facultad de informática, Universidad Politécnica de Madrid,

Castillo, E., Manuel, J., & Hadi, S. (1997). *Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas.* Artificial Intelligence in Engineering

De la Fuente, G. S. (2006). *Sistemas expertos en medicina.* [en línea].2006. [Consultado: 2013-02-15].

Disponible en: http://www.cybertesis.cl/tesis/2cc50m2cingcon2006.ppt

Ferrer Modolell, A. E. (1996). *Restauración de impactos mineros en zonas semiáridas: el ejemplo de la provincia de Granada.* Revista Geogaceta.

García Martínez, R. (1992). *Construcción de Sistemas Expertos*. 154 páginas. Imprenta del CEI-UBA. Argentina. 1992.

García Piñon, F. (2008). *Restauración de canteras para su aprovechamiento como vertederos.* I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón.

Grover, M. (1983). *A Pragmatic Knowledge Acquisition Methodology.* Proceedings VIII . Estados Unidos.

Hasemert y John, D. (2005). *Common LISP Programming for Artificial Inteligence* (Primera ed.). New York: Addison Wesley.

Montse,Jorba & Ramón, V. (2010). *Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo.* Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient, I Habitatge.

Kirmanli, C.(2009). *An expert system for hydraulic excavator in surface mining*. Volume 109 Refereed Paper. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy.

Knight, K & Rich, E. (1991). *Artificial Intelligence.* México: Mc GrawHill.

Kulikowski, C. A., & Weiss, S. M. (1984). *A Practical Guide to Designing expert system.* New York: Rowan an Allanheld.

Legrá, A. (2008). *La investigacion científica: Conceptos y reflexiones.* Moa, Holguín, Cuba.

Montes de Oca Risco, A. (2012). *Recuperación de áreas minadas de canteras de materiales de construcción de Santiago de Cuba.* Tesis de maestría, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Parra Alemán, J. (2003). *Estudio del impacto ambiental provocado por la explotación minera en la cantera del yacimiento Los Guaos.* Tesis de grado, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Pazos Sierra, J. (1996). *Introducción a la Ingeniería del Conocimiento.* Unidad 19. Material del Magister en Ingeniería del Software. Convenio ITBA-UPM.

Pous Alvarez, A. (Mayo de 1985). *Recuperación de zonas devastadas por los trabajos mineros*. Revista Tecnológica. Vol. XV, Geología No1, mayo. 1985

Riverón Matos, H. (2003). *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).* Tesis en opción al título de especialista de posgrado en gestión ambiental para la industria del niquel, Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez"

Rizzi, F. M. (2001). *Sistema Experto Asistente de Requerimientos.* Tesis de magister en Ingeniería de Software, Ad Lucem Serenitate Tendo, Buenos Aires, Argentina.

Rubio, R. F. (1998). *Clausura de minas: impactos hidrológicos.* Oviedo. Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre Desarrollo Sostenible. Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.

Sánchez y Beltrán, J. P. (1990). *Sistemas Expertos: Una metodología de programación* (Primera ed.). México: Macrobit.

Torres Torres, V. A. (2009). *Prototipo de Sistema Experto para Seleccionar Métodos y máquinas de perforación.* Tesis de grado, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Ulloa Carcassés, M. (2004). *Rehabilitación de áreas en desuso del yacimiento de rocas ornamentales "Rosado del Río" provincia Granma.* Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

APÉNDICES

Apéndice A: Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas por minería en canteras de materiales de la construcción.

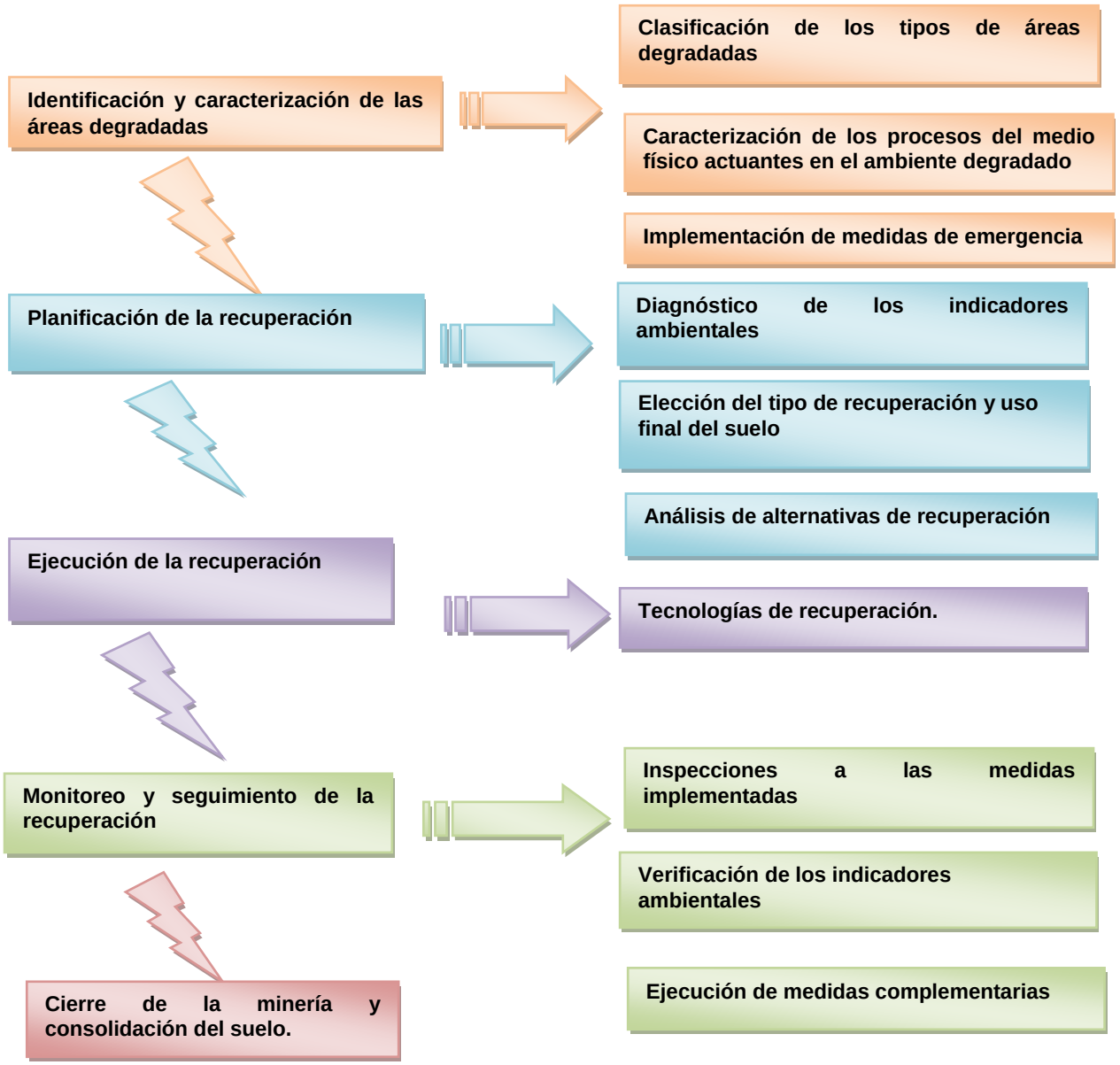


Figura 12: Procedimiento para la recuperación de áreas degradadas

Apéndice B: Impactos con medidas correctoras

Tabla 7: Tipos de acciones empleadas en la minería.

Acción	Factores	Impacto	Medida correctora
Desbroce	suelo relieve fauna flora vegetación	Eliminación de la capa vegetal y transformación del paisaje con la consiguiente pérdida del hábitat, muerte de individuos, de las capacidades de refugio, nidificación y alimentación.	Recultivación después de terminada la explotación.
Destape	suelo relieve fauna flora vegetación	Transformación del paisaje y disminución de la cobertura terrestre.	Evitar durante el destape utilizar áreas mayores de las necesarias para evitar la creación de superficies denudas.
Perforación	aire	Emisión del polvo al medio por el uso de equipos de perforación.	- Aplicación de nuevas técnicas de perforación (martillos rompedores). - Colocación de mangas colectores de polvo en las carretillas barrenadoras.
Voladura	población aire	- Ruido, molestias a la población. - Emisión de gases tóxicos al medio.	Utilización de equipos de avanzada que no se tengan que hacer voladuras.
Excavación	relieve	- Transformación del paisaje. - Derrame de lubricantes y	- Mantener en buen estado técnico el equipamiento minero

		combustibles.	
Transportación	relieve agua población	- Compactación del terreno. - Emisión del polvo al medio.	- Regar agua en los caminos para mitigar la contaminación del aire con el polvo proveniente de la actividad minera. - Mantener en correcto estado técnico los equipos mineros.
Procesamiento de la materia prima	atmósfera población	- Emisión del polvo al medio. - Ruido. - Aumento de la disponibilidad de la materia prima para la construcción.	- Instalación de ciclones colectores de polvo. - Uso de caretas protectoras contra el polvo. - Colocación de filtros en las chimeneas.

Apéndice C: Tipos de recuperación empleados en la minería.

Tabla 8: Tipos de recuperación empleados en la minería.

TIPO DE USO	CARACTERÍSTICAS	ASPECTOS NECESARIOS
AGRÍCOLA	Especies agrícolas que proporcionan un establecimiento rápido de la cubierta vegetal.	✓ Pendientes suaves. ✓ Sistema de drenaje. ✓ Suelo fértil bien reconstituido ✓ Tipo de cultivo adaptado a la disponibilidad de agua y a las características del suelo.
FORESTAL	✓ Plantación de árboles para la explotación de madera. ✓ Incremento de la biodiversidad. ✓ Lucha contra la erosión, etc.	✓ Pendientes moderadas. ✓ Suelo fértil bien reconstituido. ✓ Sistema de drenaje. ✓ Selección de especies.
HÁBITAT NATURAL	✓ Recuperación del entorno natural o creación de nuevo hábitat. ✓ Reserva (flora y fauna).	✓ Suelo fértil bien reconstituido. ✓ Selección de especies. ✓ Modelado de orillas y Excavaciones.
ACTIVIDADES RECREATIVAS	✓ Senderismo. ✓ Contacto con la naturaleza. ✓ Observatorio de especies o área de interés geológico. ✓ Pesca. ✓ Deportes náuticos. ✓ Campos para la práctica deportiva. ✓ Parque zoológico. ✓ Jardín botánico.	✓ Estabilidad de los taludes. ✓ Buenas propiedades geotécnicas. del suelo restaurado. ✓ Accesos. ✓ Proximidad a núcleos urbanos. ✓ Medidas de seguridad para los usuarios. ✓ Buen acondicionamiento de la excavación.

	✓ Museo de la explotación.	
URBANISMO	✓ Urbanizaciones. ✓ Parques y zonas verdes. ✓ Auditorios. ✓ Iglesias. ✓ Bodegas.	✓ Pendientes suaves. ✓ Buenas propiedades geotécnicas del suelo restaurado. ✓ Accesos. ✓ Proximidad a núcleos urbanos. ✓ Medidas de seguridad para los usuarios. ✓ Infraestructuras (líneas eléctricas, alcantarillado, agua potable, carreteras de acceso, etc.). ✓ Buen acondicionamiento de la excavación (vertederos, depósitos, piscifactoría).
INDUSTRIAL	✓ Suelo para establecimiento de polígonos industriales. ✓ Aparcamientos. ✓ Depósito de agua para consumo humano o riego.	
VERTEDEROS DE SÓLIDOS	Vertedero de residuos.	

Apéndice D: Relación entre las explotaciones mineras y sus usos

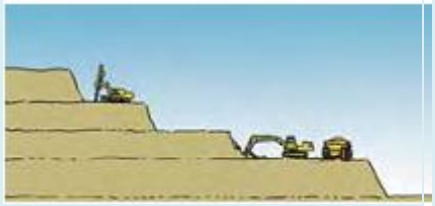
Tipos de explotaciones mineras		Usos						
		Ag	Fo	Re	Reser	Re	Ur.	In du
Canteras a media ladera			1	3 1	2	3	3	3
Canteras de excavación descendente			1	1 3	1	5	5	5
Canteras en seco			1	1 1	2	1	1	1
Canteras en húmedo			5	5 5	4	5	5	5
Si	1							
No	2							
Zonas llanas y de poco pendiente	3							
En ocasiones	4							
Con relleno	5							

Figura13: Relación entre los tipos de explotaciones mineras

Apéndice E: Comparativa entre Sistema Clásico y Sistema Experto.

Tabla 9: Comparativa entre Sistema Clásico y Sistema Experto.

Sistema Clásico	Sistema Experto
Conocimiento y procesamiento combinados en un programa.	Base de conocimiento separada del mecanismo de procesamiento.
No contiene errores	Puede contener errores.
No da explicaciones, los datos solo se usan o escriben.	Una parte del sistema experto consiste en el módulo de explicación.
Los cambios son tediosos.	Los cambios en las reglas son fáciles.
El sistema solo opera completo.	El sistema puede funcionar con pocas reglas.
Se ejecuta paso a paso.	La ejecución usa heurísticas y lógica.
Necesita información completa para operar.	Puede operar con información incompleta
Representa y usa datos.	Representa y usa conocimiento.

Apéndice F: Estructura de un Sistema Experto.

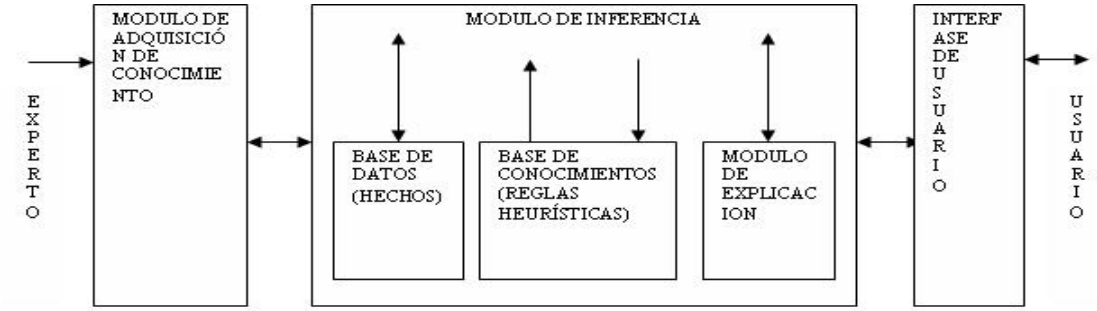


Figura 14: Estructura de un Sistema Experto.

Apéndice G: Encuestas aplicadas.

Encuesta # 1: Selección de las características para clasificar las canteras.

1. ¿Qué características se deben de tener en cuenta para clasificar los yacimientos de la industria de materiales de construcción de la provincia de Santiago de Cuba?, marca con una X las características que usted utiliza. Evalúe la importancia que le concede a cada una de las características seleccionadas con valores del 1 al 10.

Características de los yacimientos	Selección	Valoración
✓ **Relieve** ✓ **Clima** ✓ **Pendiente** ✓ **Presencia de ríos** ✓ **Materia Prima**		

a) Proponga si deben considerarse otras características.

Características de los yacimientos	Selección	Valoración

Encuesta #2: Selección de las acciones, aspectos que se realizan en los yacimientos.

1. ¿Qué acciones se realizan en el terreno para determinar impacto y medida correctora?, marque con una X su selección.

Acciones	Selección
✓ **Desbroce** ✓ **Destape** ✓ **Perforación** ✓ **Voladura** ✓ **Excavaciones** ✓ **Transportación** ✓ **Procesamiento de la materia prima** ✓ **Trituración** ✓ **Clasificación y lavado**	

a) Proponga si deben considerarse otras acciones

Acciones	Selección

2. Que aspectos se deben de tener en cuenta para determinar el tipo de recuperación.

Aspectos	Selección
✓ **Huecos de excavaciones grandes y pocos profundos.** ✓ **Disponibilidad de agua.** ✓ **Riesgo de erosión.** ✓ **Estabilidad de los taludes.** ✓ **Control de la erosión.** ✓ **Localización cerca de núcleos urbanos**	

a) Proponga si deben considerarse otros aspectos

Aspectos	Selección

3. ¿Qué aspectos se deben tener en cuenta para determinar el tipo de área degradada?

Aspectos	Selección
✓ **Excavaciones a cielo abierto.** ✓ **Frentes de explotación.** ✓ **Taludes.** ✓ **Trincheras.** ✓ **Galerías subterráneas.** ✓ **Cuerpos de escombreras.** ✓ **Suelos superficiales.** ✓ **Áreas de funcionamiento de unidades.** ✓ **Áreas de almacenaje.** ✓ **Vías de circulación.**	

a) Proponga si deben considerarse otros aspectos.

Aspectos	Selección