

## UN MÉTODO PARA LA GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE EXPLICACIONES DE RESULTADOS DE UN SISTEMA EXPERTO, CENTRADO EN LA BIOLIXIVIACIÓN DE COBRE

Yahima Hadfeg Fernández<sup>1</sup>, Víctor Flore<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación. Universidad Católica del Norte. Antofagasta, Chile. E-mail: [yahima.hadfeg01@ucn.cl](mailto:yahima.hadfeg01@ucn.cl)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación. Universidad Católica del Norte. Antofagasta, Chile. E-mail: [vflores@ucn.cl](mailto:vflores@ucn.cl)

### RESUMEN

La Biolixiviación es uno de los procesos mineros que están despertando expectativas en la industria minera, ya que se puede obtener metales como el cobre desde materia prima de baja ley. Esto representa para las empresas un proceso de obtención de cobre a menor costo y con menor impacto ambiental. En este contexto, los Sistemas Expertos pueden ayudar a mejorar los resultados obtenidos en el proceso de Biolixiviación. En este trabajo se describe una propuesta de un módulo inteligente de explicaciones multimedia que mejora los resultados de un Sistema Experto que se está desarrollando en la UCN, centrado en los procesos de Biolixiviación de cobre. Los autores examinan cómo poder generar automáticamente explicaciones a partir de inferencias del Sistema Experto, teniendo como entrada las reglas activadas en el proceso de inferencia en el Sistema Experto y una ontología del dominio del proceso antes mencionado. Como resultado del trabajo se obtiene un algoritmo capaz de explicar el proceso de inferencia que ha seguido el sistema experto para llegar a una conclusión determinada.

Palabras clave: Sistema Experto, Generación automática de explicaciones, Ontología, Base de conocimiento, Patrones de presentación.

### ABSTRACT

Bioremediation is one of the mining processes that are raising expectation in the mine industry nowadays. It gives the option of obtaining metals such as copper from low-grade material, at a lower cost and minimized environmental impact. In this context, Expert Systems can help to improve the results of the Bioremediation process in order to obtain copper. This paper proposal describes an intelligent module of multimedia explanations that improves the results of an Expert System, which is being developed in the UCN. It is focused on copper bioremediation processes. The authors examine how to generate automatic explanations from the Expert System results, taking as an input the set-rules activated in the inferences process and ontology of the aforementioned processes. As a result, It is achieved an algorithm to explain the inference process followed by the Expert System in order to reach a particular conclusion.

Key words: Expert systems, Automatic generation of explanations, Ontology; Knowledge-base system, Patterns of presentation

## 1. INTRODUCCIÓN

Los minerales y con ellos los metales son unos de los recursos naturales más significativos para la del ser humano. Ellos vida han servido a lo largo de la historia para aportar innumerables beneficios a la vida humana.

Hoy día una gran cantidad de herramientas, tecnologías y utensilios, usan en mayor o menor medida a los metales como parte de su conformación, esto hace que sea muy importante su extracción y utilización. Los metales son extraídos de entre las rocas mediante distintas técnicas [1] [2] [3] [4]. Muchas de estas técnicas implican invertir altos costos para la obtención de metales y producen contaminación al medio ambiente.

Cuando el objetivo es extraer metal como el cobre (Cu) desde materia prima de baja ley [5] por métodos tradicionales, el costo de la extracción y la contaminación ambiental resulta ser muy elevada. Se ha experimentado con nuevas formas de extracción más baratas y limpias, en lo que a impacto ambiental se refiere. Uno de estos métodos es la Biolixiviación.

La Biolixiviación consiste en apilar ripio (material resultante del proceso de extracción de cobre por métodos tradicionales) y sembrar este ripio con bacterias (irrigación) capaces de oxidar azufre generando ácido sulfúrico que permite solubilizar el mineral. El ripio se apila por niveles que se denominan pisos y el material solubilizado por las unidades PLS. En estas unidades PLS se toman muestras y se estudia su composición para verificar la concentración de cobre [5]. Entiéndase por PLS la solución que sale de las instalaciones de lixiviación (Pilas, bateas, etc.) y que ha sido enriquecida por la disolución de cobre desde el mineral. La Figura 1 ilustra este proceso.

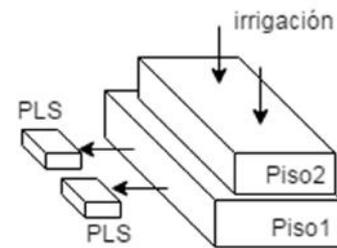


Figura 1. Esquema de la Pila de Biolixiviación de cobre

Una de las trabas para la extensión de esta tecnología, es el desconocimiento de las estrategias de control de las comunidades microbianas que son actores relativamente nuevos en la metalurgia. En Chile existe actualmente la valiosa oportunidad de generar conocimiento en esta dirección y definir criterios innovadores de diseño y operación que permitan extender los alcances de esta tecnología.

El Centro de Biotecnología "Profesor Alberto Ruiz" (CBAR)<sup>1</sup> trabaja actualmente con empresas mineras dedicadas a la extracción de cobre en el norte de Chile. Investigadores del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación, en conjunto con expertos del CBAR están desarrollando un Sistema Experto para el soporte a la toma de decisiones. Dicho Sistema Experto tiene el conocimiento adquirido a partir de la información recopilada de los cambios metabólicos (expresión de genes, tiempos de respuesta, rangos de los parámetros operacionales que gatillan la inducción, etc.) de los microorganismos predominantes cuando se modifica el sistema en variables seleccionadas.

En ocasiones las acciones y resultados arrojados por el Sistema Experto no son fáciles de comprender por usuarios que no tengan una elevada madurez en los conocimientos de los procesos de Biolixiviación. Esta situación en determinados escenarios pudiera ser desfavorable e incluso afectar la producción del metal. Resulta de gran interés que el Sistema Experto cuente con un módulo que ofrezca información detallada respecto a las conclusiones

<sup>1</sup> <http://www.ucn.cl/sobre-ucn/vicerectorias-ucn/vicerectoria-de-investigacion-y-desarrollo-tecnologico/centro-de-biotecnologia/>

arrojadas por el motor de inferencia en relación al proceso.

Esta información detallada puede ser suministrada por un módulo inteligente de generación de explicaciones, éste módulo inteligente en otros dominios ha servido de ayuda para entender los resultados alcanzados por los Sistema Experto [6] [7].

El conocimiento del Sistema Experto debe estar representado en una base de conocimiento la cual está compuesta por reglas y una ontología en el dominio del proceso de Biolixiviación.

En este documento se presenta una propuesta de un generador inteligente de presentación de información, a partir de la inferencia de un Sistema Experto que interpreta las características de una pila de Biolixiviación y generar conclusiones sobre la producción de cobre de dicha pila.

## 2. GENERACIÓN DE EXPLICACIONES

Un módulo inteligente de generación de explicaciones puede entenderse como aquel que genera un discurso estructurado, comprensible por las personas y con información útil para tareas como la toma de decisiones, entrenamiento, etc. [7] [8]. También debe dar la posibilidad de personalizar las necesidades de los distintos usuarios que pueden interactuar con el sistema, los cuales no tienen que requerir el mismo nivel de información.

Una forma actual de generar presentaciones inteligentes es usar patrones de presentación o de discurso. Un patrón de discurso expresa cómo construir una parte del discurso. La estructura del discurso puede entenderse como la forma de disponer (de principio a fin) la información en modos de presentación (como por ejemplo texto, imágenes, etc.) y de combinar estos modos de presentación, de forma que faciliten la comprensión de la información [8].

### Explicaciones en Sistemas Expertos

Los Sistemas Expertos emulan el razonamiento de un humano experto en un dominio concreto, y en ocasiones son

diseñados para explicar situaciones que luego se usan en tareas como la toma de decisiones [6]. Con los Sistemas Expertos se busca una mejor calidad y rapidez en las respuestas [9], dando así lugar a una mejora de la productividad del propio experto al usar este tipo de sistemas informáticos.

Los primeros sistemas con explicaciones surgen con el sistema de reglas MYCIN que se trataba de un sistema para detectar y recomendar tratamientos en enfermedades infecciosas [10], a este Sistema Experto le sucedieron NEOMYCIN [11] que amplió las capacidades de MYCIN y del otro Sistema Experto llamado XPLAIN [12]. Un ejemplo reciente es el sistema propuesto en [13] que genera estrategias de la logística de un sistema de transporte de vehículos pesados; el sistema usa una ontología para representar la infraestructura logística dispuesta por el Ministerio de Transporte de Rusia.

### Métodos para generar explicaciones

Se han encontrado en la literatura varios métodos para generar explicaciones, uno de ellos es el método de explicación reconstructiva. Este método considera el proceso de explicación y razonamiento como dos tareas independientes con el fin de que las explicaciones se centran en la solución. Su argumento es que las personas en sus explicaciones no describen todos los pasos para llegar a la solución.

Método de Explicación Hot SpotExplanations [14], es otro de los métodos encontrados. SpotExplanations está orientado a la creación de explicaciones cuyos objetivos principales sean los de aumentar la transparencia, validez y confianza en los sistema de recomendación [15], la propuesta tratará de reconstruir la línea de razonamiento seguida por el sistema al realizar el proceso de recomendación, consiguiéndolo a través de la introspección del mismo.

La propuesta de Gautier y Gruber consiste de un método para generar explicaciones en lenguaje natural del comportamiento obtenido por simulación de dispositivos físicos que componen sistemas dinámicos en áreas técnicas como la termodinámica o la electromecánica [16]. La propuesta se inspira

en el hecho de que en ingeniería, el comportamiento de los dispositivos físicos se modela normalmente mediante ecuaciones matemáticas, en las que se usan variables que adquieren valores continuos en el tiempo. La instanciación de estas variables en procesos de simulación suele generar abundante información y de difícil interpretación, por lo que, un sistema que genera explicaciones en lenguaje natural de este tipo facilita el entendimiento del comportamiento del sistema.

En la línea de Gautier y Gruber, un trabajo más recientes es el propuesto en [7], donde se presenta un método general que utiliza la información y el conocimiento geográfico de bases de datos públicas disponibles en la web (como OpenStreetMap, Geonames, o DBpedia) para construir automáticamente descripciones de sensores en lenguaje natural. Esta propuesta se basa a su vez en el método de generación de resúmenes de comportamiento de sistemas dinámicos utilizando un enfoque basado en modelos [8].

### 3. MODELOS DE PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN

El modelo de presentación reúne los criterios que permiten construir automáticamente una presentación que muestra de forma resumida información correspondiente al comportamiento de un sistema. Existen varios modelos de presentación como los que a continuación se mencionan.

El modelo propuesto por Flores [8] para las presentaciones multimedia está orientado a presentar resúmenes de información en sistemas dinámicos. Esta propuesta está diseñada para ser usada en la monitorización del comportamiento de sistemas dinámicos medidos por redes de sensores. El dominio donde fue probada la propuesta fue el hidrológico, constatando su utilidad operativa mediante una construcción que recibe datos de sensores y genera resúmenes de

comportamiento mostrado mediante presentaciones multimedia de Cuencas hidrográficas de España en tiempo real.

En la propuesta Robot Guía [17] se propone un modelo de presentación utilizando un Robot. Este Robot a nivel de software se distribuye como una aplicación distribuida, la versión más reciente es un agente basado en la arquitectura utilizando un enfoque específico COBRA como herramienta de integración.

El Escriptor [18] es una aplicación desarrollada totalmente con Software Libre orientada a la creación de redacciones multimedia en línea. El objetivo de la herramienta es permitir la creación remota y cooperativa de presentaciones multimedia, integrando texto, imágenes y sonidos mediante el uso de sólo un navegador web estándar y una conexión a Internet.

El sistema se basa en una arquitectura cliente-servidor centralizado. La interfaz de usuario reside completamente en el navegador web. En el servidor residen todos los demás módulos: base de datos y middleware de acceso a datos, lógica de edición, gestor de contenidos (galería) y el generador de las presentaciones.

### 4. PROPUESTA

En este trabajo se propone un algoritmo para la generación inteligente de explicaciones. En la Figura 2 se muestra la arquitectura general de la propuesta. Se puede observar que a la salida del Sistema Experto se obtienen un conjunto de conclusiones. El algoritmo recibe como entrada este conjunto de conclusiones además de una ontología en el dominio de la Biolixiviación y patrones de discurso utilizados para presentar la información. La base de conocimiento está compuesta por la ontología de dominio y los patrones de discurso que se utilizarán.

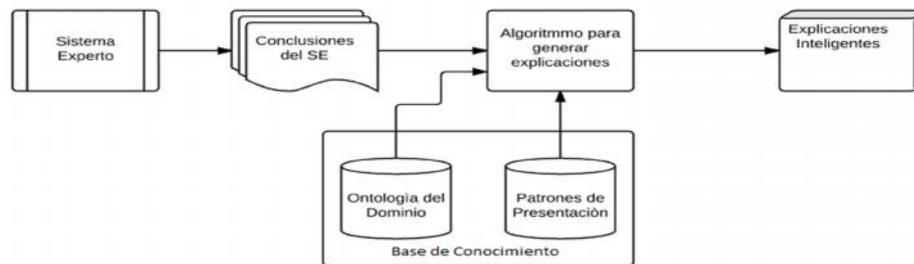


Figura 2. Arquitectura de la propuesta.

Para la representación del conocimiento del dominio se ha seleccionado una representación ontológica por la riqueza del modelo y la facilidad que brinda respecto a la modificación y actualización de los conceptos del dominio.

Se plantea como objetivo representar el conocimiento de una pila de Biolixiviación para ser usado en la tarea de generar explicaciones del estado de los parámetros de operación de que influyen en la producción de cobre, a un apropiado nivel de abstracción, con información complementaria que ayude a entender los fenómenos de interés a diversos tipos de usuarios.

En el contexto de los sistemas físicos que son gestionados por personal humano es importante contar con información adecuada y a tiempo para la toma de decisiones. Estas decisiones pueden a su vez incidir en el comportamiento futuro del sistema, y en definitiva en la producción industrial. En casos como los descritos anteriormente, la forma de presentación de información más adecuada puede ser la presentada en forma resumida. Ésta puede ser de interés tanto para los responsables de las decisiones en la gestión de los sistemas dinámicos (por ejemplo, operadores y directivos de centros de control de cuencas hidrográficas) como para otras instituciones que obran en consecuencia (como por ejemplo protección civil, alcaldías, etc.), interesadas por tanto en la evolución del sistema.

Para explotar estos sistemas, la dinámica se intenta mantener dentro de ciertos límites de acuerdo con unos objetivos de gestión. Para ello, se utilizan mecanismos de control en forma de actuadores que pueden modificar el comportamiento del sistema.

Los sistemas dinámicos en los que se centra esta representación cuentan con las siguientes características: (1) son sistemas estructuralmente complejos con cantidades importantes de elementos participantes relacionados entre sí según diversos fenómenos físico-químicos, (2) existen observadores humanos relacionados con estos sistemas, responsables de tomar decisiones que interactúan con el sistema modificando su comportamiento y afectando los fenómenos en el sistema y (3) la dinámica de estos sistemas se observa por instrumentos de medición que pueden generar grandes volúmenes de medidas observadas, cuyos valores cambian en el tiempo.

La figura 3 detalla una versión de la ontología. Se observan los elementos que participan en la oxidación para producir cobre, la oxidación es el proceso bio-químico que propicia en una pila de biolixiviación. Una pila de biolixiviación es un espacio de tierra preparado (generalmente de ripio: tierra y piedra ya explotada por procesos como chancado para la lixiviación) y dispuesto según estándares de la industria. En la pila se consideran los siguientes elementos: comunidad bacteriana (bacterias), sistema de aireación y nutrientes. Esto da lugar a los siguientes conceptos:

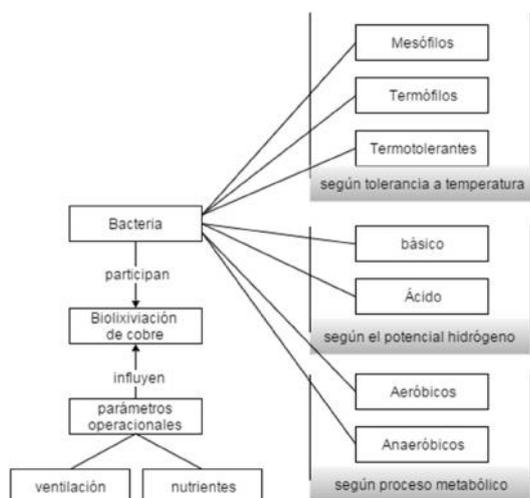


Figura 3. Estructura de la ontología planteada en el dominio de la Biolixiviación.

(1) Bacteria, son los microorganismos identificados previamente por los expertos como que influyen en el cambio de ciertos elementos en la roca para derivar en cobre. Las bacterias se clasifican en tres tipos según la tolerancia a la temperatura. Los subtipos son: Mesófilos que soportan un rango de temperatura entre 14 y 20 grados centígrados aproximadamente, Termotolerantes que soportan un rango de temperatura entre 21 y 35 grados centígrados aproximadamente, y Termófilos que soportan un rango de temperatura entre 35 y 50 grados centígrados aproximadamente.

Las Bacteria tienen ciertas características que son: tipo\_según\_grupo que es la clasificación según la temperatura del medio que soporta, los valores posibles son: [mesófilos, termotolerantes, termófilos], nombre que es el nombre científico del microorganismo, población que es el número de elementos (medido o aproximado) de ese microorganismo en la comunidad bacteriana.

(2) Parámetros operacionales, son los factores que influyen en el estado del sistema y que pueden ser modificados por el hombre, estos parámetros pueden catalizar la reproducción de ciertos microorganismos que a su vez modifican el estado del sistema y afecta finalmente la producción de cobre. En esta representación se han considerado el concepto ventilación que es el sistema de aireación (formado por ventiladores

industriales) colocado en la pila de Biolixiviación para modificar la temperatura.

Las características de la ventilación son: potencia que es la capacidad de ventilar (generar corriente de aire) del equipo, localización que es dónde se ubica el equipo dentro o cerca de la pila (por ejemplo, un valor de localización puede ser piso-1 y se refiere a que el ventilador está ubicado en el primer piso de la pila). El segundo de estos conceptos es nutriente, son compuestos químicos que se pueden agregar a la pila para modificar la comunidad bacteriana y así catalizar la oxidación de cobre.

Las características de los nutrientes son: tipo\_pH que es el tipo de reacción según el potencial hidrógeno, los valores posibles son: [ácido, base], nombre que es el nombre científico del elemento químico, concentración que es la relación entre soluto y solvente del químico.

La ontología antes descrita debe proveer la información necesaria para presentar a los usuarios información de interés relativa al comportamiento de la pila y la generación de cobre como salida relevante del Sistema Experto. Para ello, se plantea generar un modelo que seleccione y genere contenidos informativos de los eventos que participan en la inferencia del Sistema Experto para concluir sobre el estado de la producción de cobre.

Una vez obtenida la información relevante a presentar es necesario establecer el contenido informativo más agregado y el mejor medio de presentación que pueda contenerla. El objetivo de este modelo de presentación es mejorar la visualización de lo que puede ser abundante y compleja información relacionada con la inferencia del estado de un sistema complejo de Biolixiviación de cobre. Las presentaciones multimedia resultan ser un esquema de presentación adecuado para este objetivo, ya que provee una forma eficiente y efectiva de mostrar información proveniente de una fuente compleja de datos.

La manera ideada en esta propuesta de esquematizar la presentación de la información es mediante un plan de presentación que especifica cómo se debe presentar la información para cumplir con el objetivo de acercar las descripciones de funcionamiento de un sistema dinámico complejo a la manera natural en que lo entienden las personas y presentadas con

medios más naturales que los que se utilizan directamente por los mecanismos de medición e inferencia del Sistema Experto.

El plan de presentación está ideado como la combinación de elementos de presentación y estrategias de presentación. Los elementos de presentación son elementos explicativos que en definitiva, son los usados para mostrar al destinatario el estado del sistema y explicar ese estado con descripción de eventos, valores de variables (características de los conceptos de la ontología), etc. En concreto, elementos de presentación en esta propuesta son textos generales (plantillas de texto), texto relacionado a los conceptos de la ontología y otros elementos como por ejemplo gráficos de evolución.

Las estrategias de presentación son patrones de discurso que son esquemas de cómo

articular la presentación. Incluyen relaciones argumentales, relaciones de detalle de contenido informativo, relaciones de contraste de información y relaciones de argumentación, basadas en [8]. Un patrón de discurso en un texto definido en términos de relaciones entre plantillas especifica cómo y cuáles de estas relaciones se van a usar para estructurar la presentación. Este esquema de trabajo está basado parcialmente en [8] [19], el diseño de las presentaciones estarán inspiradas también en [8] [19].

La tabla 1 contiene ejemplos de estrategia de presentación diseñada para este dominio. La tabla 2 muestra algunas combinaciones posibles de valores de variables, con estos valores se seleccionaría una estrategia de presentación u otra, implementándose en un patrón de discurso.

Tabla 1. Estructuras de discurso para el dominio de Biolixiviación.

Nombre estructura de discurso	Descripción
titular-nivel-oxidación-bajo-BactToleranciaTemp(X,Y,Z)	Estructura que despliega un titular que abstrae el estado de la oxidación <X> en la pila. Texto: "Oxidación <X> en Pila", donde: $X \in \{\text{alto, medio, bajo}\}$
detalle-nivel-oxidación-bajo-BactToleranciaTemp(X,Y, N, Z)	Estructura que despliega el detalle del estado de la oxidación <X> por población bacteriana <Y> por tolerancia a temperatura, rango de temperatura <Z>. Texto: "Oxidación " <X> "en Pila por población de" <Y> "a nivel "<N> "y temperatura " <Z> donde: $X \in \{\text{alto, medio, bajo}\}$ , Y : tipo de población bacteriana predominante (según tolerancia a temperatura), N: cantidad de bacterias predominantes, T: valor de la temperatura (puede ser un rango)
gráfico-oxidación-bajo-Bact-Temp(X,Y, N, Z, N1, N2)	Estrategia que genera un gráfico en forma de diagramas de barra con los valores de poblaciones de bacterias, donde: N1 y N2 son los valores de las otras poblaciones bacterianas (menos predominantes)
Titular-nivel-desconocido	Estructura que despliega un titular cuando se desconoce el estado de la oxidación en la pila. Texto: "No se puede estimar la oxidación en la Pila"
...	...

Tabla 2. Estrategias de presentación para el dominio de Biolixiviación.

Grupos bacterias	Temperatura	Nivel Oxidación	Estrategias			
Mesófilos	Termotolerante	Termófilos				
(10e3, 10e5]	(10e5, 10e6]	(10e6, 10e7]	(12, 25]	bajo	Estrategia-1	titular-nivel-oxidación-bajo-BactToleranciaTemp(X,Y,Z) detalle-nivel-oxidación-bajo-BactToleranciaTemp(X,Y, N, Z) $\wedge$ gráfico-oxidación-baja-Bact-Temp(X,Y, N, Z, N1, N2)
(10e3, 10e5]	(10e5, 10e6]	(10e6, 10e7]	(25, 35]	Medio	Estrategia-2	titular-nivel-oxidación-medio-BactToleranciaTemp(X,Y,Z) detalle-nivel-oxidación-medio-BactToleranciaTemp(X,Y, N, Z) $\wedge$ gráfico-oxidación-medio-Bact-Temp(X,Y, N, Z, N1, N2)
Vacío	Vacío	Vacío	Vacío	Vacío	Estrategia-3	titular-nivel-desconocido
...	...	...	...	...	...	...

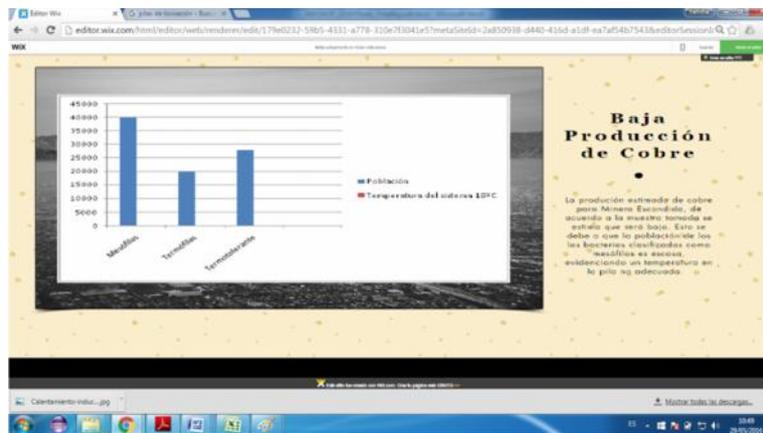


Figura 4. Prototipo de página web para mostrar la explicación.

La forma de relacionar el árbol de inferencia con el discurso es mediante selección de estrategias en base a reglas, almacenadas en el modelo de presentación. Cuando se cumplen las precondiciones de estas se selecciona una estrategia de presentación. La figura 5 muestra un ejemplo de cómo estarían implementadas las reglas para la selección de estrategias de presentación.

```
If {
  (value(mesofilos) IN (10e3,10e5))
  &
  (value(termotolerante) IN
  (10e5,10e6))
  & (value(termofilos) IN
  (10e6,10e7)) &
  (value(temperatura) IN (12,25)) &
  (value(NivelOxidacion) IN
  (10e3,10e5))
}
Then
  Estrategia-1.
```

Figura 5: Ejemplos de reglas de selección de estrategia de presentación.

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo sienta las bases para la creación de un módulo que genere explicaciones de forma automática utilizando para una ontología de dominio y una base de conocimiento específica para la tarea de Biolixiviación de cobre en Chile.

El trabajo se basa en trabajos previos para generar presentaciones de forma inteligente de sistemas dinámicos en dominios reales, pero se diferencia de éstos porque pretende aportar en dos aspectos concretos: por un lado crear una conexión directa a los estados intermedios de la inferencia de un Sistema Experto, para usar como entrada al modelo de presentación, junto con el estado del sistema expresado en valores de variables (que instancian características de los conceptos de la ontología).

Un modelo ontológico aporta flexibilidad a la representación, a diferencia de trabajos previos que usan lógica de primer orden u otros métodos con menos flexibilidad. También aporta este trabajo en el uso de patrones de discurso ya que se pretende incorporar estrategias que usen directamente elementos de la ontología, lo

que hará más rico el modelo ontológico diseñado.

El trabajo realizado hasta ahora ha permitido validar que las ontologías son una técnica para representar conocimiento con gran capacidad de representatividad, que puede ser utilizada con facilidad para los fines de esta propuesta. Esto en contraste con otras técnicas de representación de conocimiento, como por ejemplo una red semántica, que no tienen la capacidad representativa necesitada para este tipo de problema.

También como resultado parcial se puede destacar la flexibilidad encontrada al usar un modelo de discurso en combinación con una representación ontológica. La definición de patrones de discurso ha resultado intuitiva y jerarquizada en función a objetivos de información planeados. Se espera que la implementación del modelo de presentación, bajo este esquema de trabajo, sea sencilla e intuitiva gracias al uso de la ontología.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración del personal del Centro de Biotecnología "Profesor Alberto Ruiz" (CBAR), centro de investigación adscrito a la Universidad Católica del Norte, por el conocimiento, descripción de los procesos y datos aportados para la realización de esta investigación en el dominio de producción de cobre mediante la técnica de Biolixiviación.

## 7. REFERENCIAS

- [1] M. F. Álvarez, N. Borrelli, and M. Osterrieth, "Extracción de biominerales silíceos en distintos sedimentos utilizando dos técnicas básicas," Encuentro de Investigaciones Fitólíticas del Cono Sur, 3er., Tucumán, Argentina, vol. 16, pp. 7-9, 2008.
- [2] T. M. Abdel-Fattah, S. M. S. Haggag, and M. E. Mahmoud, "Heavy metal ions extraction from aqueous media using nanoporous silica," Chemical engineering journal, vol. 175, pp. 117-123, 2011.
- [3] A. Khaliq, M. A. Rhamdhani, G. Brooks, and S. Masood, "Metal extraction processes for electronic waste and existing industrial routes:

- a review and Australian perspective," *Resources*, vol. 3, pp. 152-179, 2014.
- [4] H. Agemian and A. S. Y. Chau, "Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments," *Analyst*, vol. 101, pp. 761-767, 1976.
- [5] P. E. Soto, P. A. Galleguillos, M. A. Serón, V. J. Zepeda, C. S. Demergasso, and C. Pinilla, "Parameters influencing the microbial oxidation activity in the industrial bioleaching heap at Escondida mine, Chile," *Hydrometallurgy*, vol. 133, pp. 51-57, 2013.
- [6] M. Molina and V. Flores, "Generating multimedia presentations that summarize the behavior of dynamic systems using a model-based approach," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 2759-2770, 2012.
- [7] M. Molina, J. Sanchez-Soriano, and O. Corcho, "Using Open Geographic Data to Generate Natural Language Descriptions for Hydrological Sensor Networks," *Sensors*, vol. 15, pp. 16009-16026, 2015.
- [8] V. Flores, "Generación Automática de Resúmenes de Comportamiento de Sistemas Dinámicos Mediante Modelos de Conocimiento del Dominio.," in *Facultad de Informática*. vol. Doctoral Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [9] W. Siler and J. J. Buckley, *Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning*: John Wiley & Sons, 2005.
- [10] E. H. Shortliffe, R. Davis, S. G. Axline, B. G. Buchanan, C. C. Green, and S. N. Cohen, "Computer-based consultations in clinical therapeutics: explanation and rule acquisition capabilities of the MYCIN system," *Computers and biomedical research*, vol. 8, pp. 303-320, 1975.
- [11] W. J. Clancey, "The epistemology of a rule-based expert systema framework for explanation," *Artificial intelligence*, vol. 20, pp. 215-251, 1983.
- [12] W. R. Swartout, "XPLAIN: A system for creating and explaining expert consulting programs," *Artificial intelligence*, vol. 21, pp. 285-325, 1983.
- [13] I. V. Bychkov, A. L. Kazakov, A. A. Lempert, D. S. Bukharov, and A. B. Stolbov, "An intelligent management system for the development of a regional transport logistics infrastructure," *Automation and Remote Control*, vol. 77, pp. 332-343, 2016.
- [14] A. Merino de la Fuente, "Un modelo para la generación de explicaciones en sistemas de recomendación." vol. Máster Madrid: Universidad Complutense de Madrid 2012, p. 141.
- [15] A. Almaraz, "Sistemas de Recomendación," in *Ciencia y Tecnología de la Información*. vol. Máster: Universidad Autónoma Metropolitana, 2013.
- [16] T. R. Gruber and P. O. Gautier, *Machine-generated explanations of engineering models: A compositional modeling approach*: Citeseer, 1993.
- [17] J. J. Rainer, J. Gómez, and R. Galán, "Generador Automático de Presentaciones basado en patrones para Robots Guía," 2014.
- [18] R. Galli, J. Pedrosa, I. Tolosa, V. i. Ginard, C. Guerrero, A. Bibiloni, and L. c. Valverde, "Escripnauta: sistema de creación y generación de presentaciones multimedia," 2013.
- [19] T. Gruber and P. Gautier, *Machine-generated explanations of engineering models: A compositional modeling approach*: Citeseer, 1993.