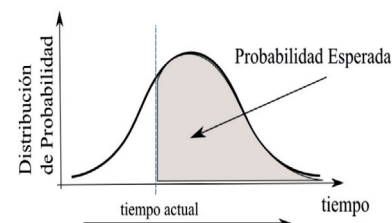


Método para el análisis de tecnologías basado en curvas logísticas y redes bayesianas

METHOD FOR TECHNOLOGICAL ANALYSIS BASED ON LOGISTIC GROWTH CURVE AND BAYESIAN NETWORK

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7005> | Recibido: 08/11/2013 • Aceptado: 10/02/2014



Christopher Nikulin^{1,3}, Francisco Retamal², Pedro Sariego²

^[1] Politecnico di Milano. Department of Mechanical Engineering, Via G. La Masa, 1 - 20156 Milan (Italia). christopher.nikulin@mail.polimi.it

^[2] Universidad Técnica Federico Santa María. Departamento de Ingeniería Mecánica. Avenida España, 1860 - Valparaíso (Chile)

^[3] Universidad Técnica Federico Santa María. Ingeniería en Diseño de Productos. Avenida España, 1860-Valparaíso (Chile) christopher.nikulin@usm.cl

ABSTRACT

- Current technology can be described as a complex system composed of several subsystems, components and parts. Understanding how each of these elements evolves over time, decision makers can improve their strategies linking it with technology development. In this paper is presented a methodology that helps to identify technological elements that have a higher probability for development in the future according the evolution of their patents. The methodology is based on the integration of tools and models allowing to describe and analyze a system technology, additionally an indicator is proposed to identify the opportunity development in the future among the different elements for a specific time of interest. Six steps are proposed using a structured approach for the development and application of the methodology. Additionally, a case study was introduced to validate the effectiveness and usability of the methodology in a real case study.
- **Keywords:** S-curve, Forecasting Technology, Mining.

RESUMEN

Actualmente la tecnología se caracteriza por ser un sistema complejo, compuesto por muchos subsistemas, componentes y partes. Entender cómo evoluciona cada uno de estos elementos tecnológicos permite precisar y mejorar las estrategias empresariales.

En este artículo se presenta una metodología que ayuda a la identificación de los elementos tecnológicos que poseen una mayor probabilidad de desarrollo futuro de acuerdo la evolución de sus patentes.

La metodología se basa en la integración de herramientas y modelos que permiten la descripción y análisis de un sistema tecnológico, adicionalmente se propone un indicador para identificar las oportunidades de desarrollo futuras entre los diferentes elementos que componen la tecnología, considerando un tiempo específico de interés.

Han sido propuesto seis pasos de manera estructurada para guiar el desarrollo y aplicación de la metodología. Adicionalmente, ha sido introducido un caso de estudio para validar la efectividad y utilidad de la metodología en un contexto real.

Palabras clave: Curva - s, Prospectiva Tecnológica, Minería.

1. INTRODUCCIÓN

Cada día la tecnología cambia más velozmente; muchos de estos cambios son causados por nuevos requerimientos por parte de los consumidores y empresas. Como consecuencia, el proceso de toma de decisiones y generación de estrategias futuras se vuelve más complejo y arriesgado.

En este contexto, los *Métodos de Prospectiva* (MP) han tomado importancia en los últimos años principalmente para apoyar y fortalecer la toma de decisiones a corto, mediano y largo plazo [1].

Actualmente existen más de cincuenta MP en literatura y los objetivos de estos métodos cambian acorde a diversas razones, tales como: requerimientos, industrias, contextos, información, recursos, entre otros [2]. Coates et al. [3] clasifican estos métodos en diferentes grupos asociado a las técnicas y herramientas utilizadas en el proceso de análisis, considerando: opinión de expertos, análisis de tendencia, inteligencia y monitoreo, escenarios, estadísticas, escenarios descriptivos y económicos/decisiones.

Desde otro punto de vista, Porter et al. [2] presentan una clasificación basada en los resultados obtenidos por cada mé-

todo, tales como: cuantitativo/cualitativo, normativo/explicativo, además considera si el método es sustentado por la opinión de expertos o supuestos del analista. Finalmente, la selección del método depende del objetivo final e información que espera obtener el tomador de decisión con el fin de planificar su estrategia [2].

En un contexto similar, los *Métodos de Prospectiva Tecnológica* (MPT) se basan en proveer información estratégica de las potenciales direcciones y características de una tecnología. Muchos de los MPT se basan principalmente en el conocimiento de expertos. No obstante este grupo de métodos son cuestionados en literatura [5], principalmente dada la alta variabilidad de sus resultados; en muchos casos la precisión y confiabilidad del método puede ser considerada baja, perjudicando el proceso de toma de decisiones [6]. Otro de los métodos más utilizados corresponde al análisis de tendencias, los cuales utilizan herramientas cuantitativas para identificar la tendencia de variables que potencialmente representarían el estado tecnológico [7]. Métodos más complejos, como modelos de árboles de regresiones y modelos de ecuaciones estructurales permiten analizar sistemas con múltiples variables ayudando a determinar las relaciones entre las variables bajo estudio. [4][22]. Sin embargo la aplicación real y práctica puede verse limitada, debido a que la determinación del comportamiento de las variables muchas veces es considerado un proceso incierto, como consecuencia, el proceso de toma de decisiones puede verse afectado[4][22].

Desde otro punto de vista, los modelos ocultos de Markov, específicamente el modelo jerárquico [23], ayudan a predecir eventos futuros, utilizando supuestos en el comportamiento de las variables, los cuales predicen eventos futuros, no obstante la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediatamente anterior [23], por lo cual no considera una completa visión histórica y práctica de la evolución que ha tenido una tecnología.

Considerando los modelos actuales para el análisis tecnológico, otra de las limitaciones que presentan los MPT es el nivel de detalle que se debe considerar, principalmente los MPT que se basan en el análisis de las funcionalidades que provee el sistema tecnológico (tecnología en estudio), perdiendo información relevante sobre las características técnicas de la tecnología, como es el caso de: subsistemas, componentes, partes y herramientas [1] [15]. A la vez, este tipo de enfoque no considera el hecho actual que la tecnología debe ser analizada como un sistema complejo, el cual es compuesto de múltiples funciones y sistemas. Dada esta complejidad, la tecnología puede evolucionar o desarrollarse de manera diversa [8], distintas partes de un sistema pueden presentar diferentes dinámicas de evolución, produciendo un desfase evolutivo [1] [8] [15]. Muchas veces, la evolución depende de la importancia del componente y/o número de empresas que investigan e invierten en dicha tecnología.

Con esta premisa, éste artículo presenta una Metodología de Prospectiva Tecnológica (MPT) considerando distintos niveles jerárquicos de una tecnología, tales como: sistemas, subsistemas, componentes y partes. Para lograr este objetivo se determina la evolución de cada uno de estos elementos de forma independiente utilizando un modelo de crecimiento logístico, para posteriormente combinar los resultados a través de la utilización de una red bayesiana en un tiempo evaluación

“t”. Adicionalmente, la metodología ha sido desarrollada para apoyar empresas independiente de su tamaño, grandes o pequeña, por lo cual la información utilizada debe ser de libre acceso. Para esto se ha utilizado la base de datos de patentes de oficinas internacionales tales como WIPO, ESPACENET, USPTO [9] [10] [11].

Este artículo está estructurado de la siguiente manera: La segunda sección describe el estado del arte para la aplicación de la metodología propuesta, focalizado en la utilización de curvas-s como modelo de tendencia y determinación de su estado evolutivo. La tercera sección describe la metodología utilizando un modelo Etapa-Puerta, con el objetivo de sistematizar la metodología, partiendo de la aplicación de modelos descriptivos, base de datos y obtención de la información utilizando buscadores de libre acceso, creación de la red bayesiana y aplicación del modelo de tendencia por nodo. La cuarta sección presenta un caso de estudio para validar la metodología en un contexto industrial. Finalmente se presentan la discusión, limitaciones y conclusiones de la metodología propuesta así como trabajos futuros.

2. LITERATURA

2.1. MODELO DE REDES BAYESIANAS

Las redes Bayesianas son modelos probabilísticos que establecen relaciones entre diferentes variables en un dominio. Las redes son representadas de una forma gráfica que se compone de nodos y arcos de unión. Cada nodo en particular representa una variable, mientras que los arcos indican la relación que existe entre nodos, señalando la dependencia probabilística entre las variables [16]. La construcción de una red se inicia detectando la totalidad de las variables para posteriormente ordenarlas [17]. Se comienza por descripción de las variables principales, hasta llegar a las que tienen una menor influencia, creando un diagrama probabilístico. La estructura gráfica de las redes bayesianas y su fundamento probabilístico las hace apropiadas para modelar sistemas multivariados orientados a la clasificación, así como para el diagnóstico y la toma de decisiones [16] [17]. Finalmente la red bayesiana permite relacionar distintas variables ayudando al análisis de modelos complejos.

2.2. MODELO DE CRECIMIENTO LOGÍSTICO

El *modelo de crecimiento logístico* es un modelo matemático de evolución de población, que generalmente se aplica cuando se desea representar de forma gráfica la evolución que una especie tendrá en el tiempo [13]. Gráficamente el modelo adopta una curva en forma de “S” (Figura 1-a), la cual indica que inicialmente una población comienza a crecer lentamente, pero a medida que el tiempo se incrementa, también lo hace la población. Este crecimiento comienza a acelerarse alcanzando características exponenciales, y después de transcurrir un tiempo, conocido frecuentemente como *punto de inflexión*, el crecimiento de esta curva comienza a estabilizarse en un valor límite poblacional, debido a factores de “retroalimentación negativa” o “limitaciones de crecimiento” propios de los sistema acotados o limitados[14].

Existen distintos modelos logísticos en literatura con distintas características y comportamientos, por ejemplo curvas

tales como Richards, Gompertz y función logística general, son modelos representativos del ciclo de vida (curva-s). Sin embargo existen limitaciones relacionadas al número, cálculo e interpretación de sus parámetros, lo que dificulta su aplicación tanto para expertos como para principiantes [24][25]. Bajo esta perspectiva, la *ecuación de Meyer* [13] corresponde a una de las curvas más utilizadas tanto por expertos y principiantes; la vasta aplicación y utilización de esta curva se debe a la fácil interpretación de sus parámetros, así como la estimación matemática de ellos. Principalmente la ecuación de Meyer se basa en la proyección de una base de datos que contenga datos empíricos del crecimiento de alguna población. A dichos datos es posible aplicarles la regresión logística, para mediante este modelo de crecimiento, determinar las siguientes variables:

- K: valor de saturación para la población bajo estudio;
- T_m: tiempo medio de crecimiento, donde la curva alcanza el 50% de su crecimiento, adicionalmente este parámetro indica donde la curva se ubica en el tiempo;
- Δt: tiempo de crecimiento entre 10% y 90% de la curva.

Con estos 3 parámetros es posible obtener información relevante sobre el crecimiento poblacional a mediano y largo plazo, tales como: tiempo para llegar al punto del inflexión y valor límite de saturación para la población en estudio [13] [14] [21].

3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Los seis pasos de la metodología pueden ser considerados como un *algoritmo operativo* que describe todas las acciones a realizar de forma secuencial. La Figura 2 presenta la metodología propuesta utilizando un modelo Etapa-Puerta, con el fin de representar los pasos (etapas) que se requieren y el requerimiento (puerta) que se debe obtener al final de cada paso.

Paso 1: Selección del sistema a analizar [1]

Este paso tiene como objetivo identificar los motivos por los cuales es necesario realizar un análisis tecnológico. La se-

lección del sistema tecnológico está asociada al contexto en el cual se utiliza y se desenvuelve la tecnología, principalmente motivado por el interés de innovación y mejora.

Por esta razón, es necesario establecer cuáles son los factores que determinan la relevancia del estudio. Existen distintos factores que motivan la necesidad de predecir la evolución de una tecnología, algunas de estos factores pueden ser: costos de producción, productividad del proceso, frecuencia de falla, baja eficiencia, fallas con resultados catastróficos para la producción o elaboración, etc. Con esta perspectiva, al final de éste paso, es importante identificar cuál es el sistema y las razones que motivan un análisis de prospectiva.

Paso 2: Descripción del sistema [15]

El segundo paso se enfoca en la descripción del *Sistema Tecnológico* (ST) mediante la descripción de los elementos que lo componen. Se utilizan tres modelos para entender la

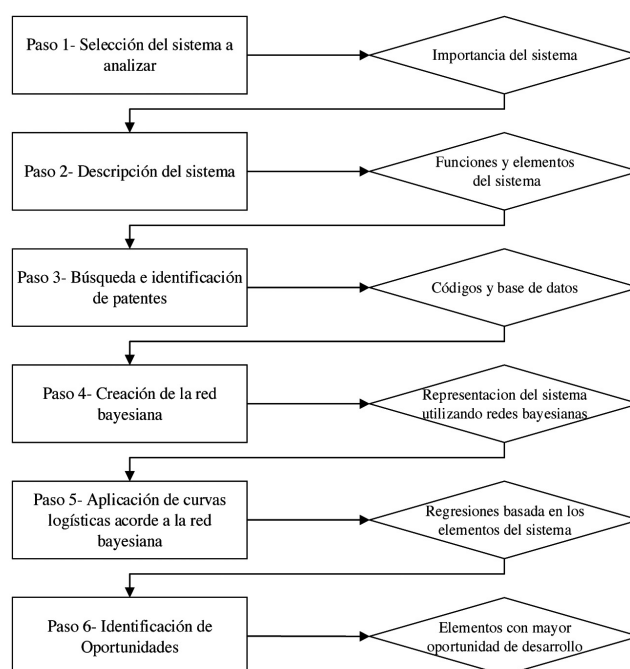
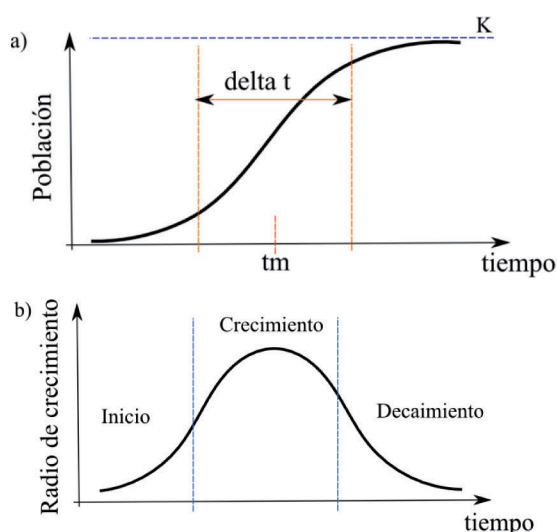


Figura2: Descripción de la metodología utilizando modelo Etapa-Puerta



Figuras 1:a) Curva de crecimiento logística o curva-s, descrito por la ecuación (1), también conocida como ecuación de Meyer; b) tasa o ratio de crecimiento y etapas de vida, descrito por la ecuación (2)

$$N(t) = \frac{K}{1 + e^{\frac{\ln(81)}{\Delta t}(t - t_m)}} \quad (1)$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\ln(81)}{\Delta t} * N(t) \left(1 - \frac{N(t)}{K}\right) \quad (2)$$

complejidad del sistema considerando diversas funciones, subsistemas, componentes y partes. Los modelos utilizados se describen a continuación:

1. **Modelo EMS:** el primero es el modelo Energía-Materia-Señal, que se aplica describiendo los flujos de entrada y salida que ocurren cuando el ST realiza su función principal; estos flujos pueden ser clasificados en Materia, Energía y Señal. Después de aplicar este modelo de manera global, se aplica de manera interna en cada subsistema de interés con las respectivas interacciones entre los subsistemas [8] [15].
2. **Modelo Sistema Mínimo Técnico (MTS):** el modelo MTS se basa en que cada sistema o subsistema es analizado como si se constituyera de cuatro partes fundamentales: control, motor, transmisión y herramienta. También es posible identificar las relaciones con el exterior de cada sistema (suministro de energía, nivel de control superior y objeto que recibe la acción de la herramienta), relacionando así cada parte del modelo con un elemento funcional del sistema tecnológico. Este modelo se aplica a cada subsistema de interés determinado por el modelo EMS [8].
3. **Modelo sustancia-campo** [8]: determina bajo qué condiciones físicas de interacción trabaja la herramienta con el objeto del modelo MTS.

Finalmente en este paso se obtiene una visión completa del sistema, aportando información fundamental para realizar la búsqueda de patentes, que serán la base de datos de poblaciones para la determinación del estado tecnológico.

Paso 3: Búsqueda e identificación de patentes [9] [10] [11]

La tercera etapa se enfoca en la obtención de patentes relacionadas con la descripción provista en el Paso 2; para lograr esto se utilizan dos enfoques:

1. **Palabras Claves:** la búsqueda basada en palabras claves se realiza utilizando cada uno de los elementos descritos previamente (Paso 2); es necesario identificar los códigos de clasificación internacional (IPC o CPC) más usados en cada uno de los elementos y las combinaciones más representativas.
2. **Códigos de clasificación de patentes:** la búsqueda de patentes puede ser realizada directamente con los códigos internacionales (IPC o CPC) que utilizan las oficinas de patentes que proveen descripciones, clases y grupos con determinadas características. En combinación con el Paso 3.1 se obtiene cuáles son las palabras claves y códigos relevantes por cada elemento, generando la base de datos necesaria para realizar el análisis.

Al final de este paso se obtiene una base de datos por cada elemento del sistema, cada uno con un número determinado de patentes y su año de aplicación. Se debe considerar que regularmente en la práctica las patentes pueden describir más de un elemento, por lo cual la clasificación debe realizarse al nivel de detalle que permiten las patentes bajo estudio, luego la información debe ser desplegada en distintos niveles acorde la información encontrada (ej. entre más complejo el sistema tendrá mayor cantidad de subsistemas, componentes, por lo cual debe ser representado a través de distintos niveles de información).

Paso 4: Creación de la red bayesiana

La cuarta etapa de la metodología se enfoca en representar la descripción del sistema (Paso 2), considerando el nivel de detalle de la información obtenida en el Paso 3. Para relacionar los elementos se utiliza una representación a través de una red bayesiana [16] [17]. La finalidad de este paso es crear una representación simple del sistema, describiendo diversos niveles de detalle dentro de la tecnología bajo estudio. Para lograr este objetivo cada sistema y componente del MTS debe considerarse como un potencial nodo, no obstante dado que no todas las partes del MTS pueden estar asociados a una base de datos de patentes, distintos tipos de nodos emergerán.

A continuación se describen los distintos tipos de nodos que pueden surgir considerando diversos niveles de detalle:

- Subsistemas: cada subsistema posee un nodo que lo representa, las patentes asociadas a estos subsistemas son utilizadas como variables para extrapolar el ciclo de vida. Dentro de los subsistemas se encuentran los componentes que son los que dan forma al subsistema, diversos tipos de nodos pueden identificarse dentro de un subsistema, tales como:
 - Un componente del subsistema puede ser representado por un único nodo (hijo): la búsqueda de patentes permite encontrar una base de datos asociada al componente tecnológico directamente dentro del subsistema (padre).
 - Dos o más componentes del subsistema en un nodo (hijo): la búsqueda no permite diferenciar entre dos componentes del sistema o más, por lo cual se deben considerar como una base de datos única.
 - Partes dentro del componente nodo (hijo): algunos componentes pueden estar formados por distintas partes al mismo tiempo; en caso que la búsqueda de patentes permita su descomposición se pueden crear nodos hijos asociados a partes dentro de un componente específico.

Paso 5: Aplicación de curvas logísticas acorde a la red bayesiana

La quinta etapa se enfoca en determinar el ciclo de crecimiento de cada nodo. Para determinar el ciclo de vida por cada nodo es necesario realizar la regresión de manera individual obteniendo los parámetros K, y. Este proceso se realiza mediante la minimización del error de la ecuación (3), donde es la cantidad de patentes en el año, indica la base de datos (nodo) y B es el vector asociado a los 3 parámetros a determinar. Como resultado, es una función no lineal, la cual debe ser minimizada [14].

$$SS_{Res} = \sum_{i=1}^n [w_i - N(t_i, \mathbf{B})]^2 \quad (3)$$

Finalmente, como resultado se obtiene la información de cada parámetro (k, y,) por cada nodo representado en la red bayesiana (Paso 4), el cual estará asociado a distintos subsistemas, componentes y partes. La curva de Meyer [13] es transformada en una curva de probabilidad (Figura 3).

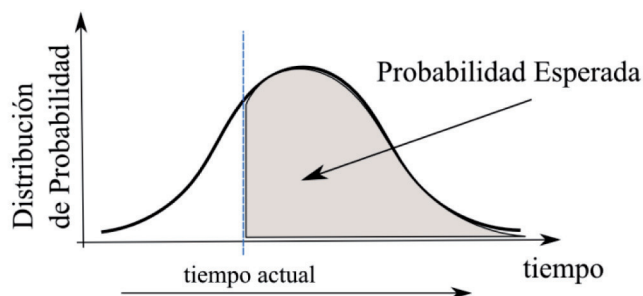


Figura 3: Probabilidad Esperada (PE)

La Probabilidad Esperada (PE), se entiende como la probabilidad que tiene el nodo para continuar creciendo en el futuro (ej.: si la PE es alta, significa que el sistema tecnológico está en una etapa inicial de desarrollo por lo cual su posibilidad de crecimiento es mayor; por el contrario si su PE es baja, el sistema tecnológico puede considerarse que está en una etapa de madurez o decaimiento, por lo cual sus posibilidades de crecimiento serán menores) [18]. Finalmente esta información es utilizada para determinar la oportunidad de desarrollo futuro que posee cada nodo dentro del sistema.

Paso 6: Identificación de Oportunidades

La sexta etapa se centra en combinar la información previamente obtenida (Paso 5) con el número de patentes que actualmente existe en el nodo. Para esto se crea un *Indicador de Oportunidad* (IO) que permita evaluar el desarrollo tecnológico de cada nodo para cierto tiempo de análisis “t”. El IO combina la PE con la dimensión o peso del nodo (w_{ij}) (tamaño de la población del nodo).

Debido a que la red bayesiana es dinámica (“PE” y “w” cambian en el tiempo), la ecuación (4) corresponde a la solución general para determinar el indicador IO de un nodo a través del tiempo, la cual se puede considerar como una red bayesiana dinámica [25].

$$IO(PE_{ij}^t, w_{ij}^t) = \prod_{t=1}^T \prod_{j=1}^k \prod_{i=1}^n PE_{ij}^t * w_{ij}^t \quad (4)$$

4. CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio es presentado bajo el contexto del proyecto *Cluster Minero*, que tiene como objetivo identificar oportunidades para tecnologías mineras centrándose específi-

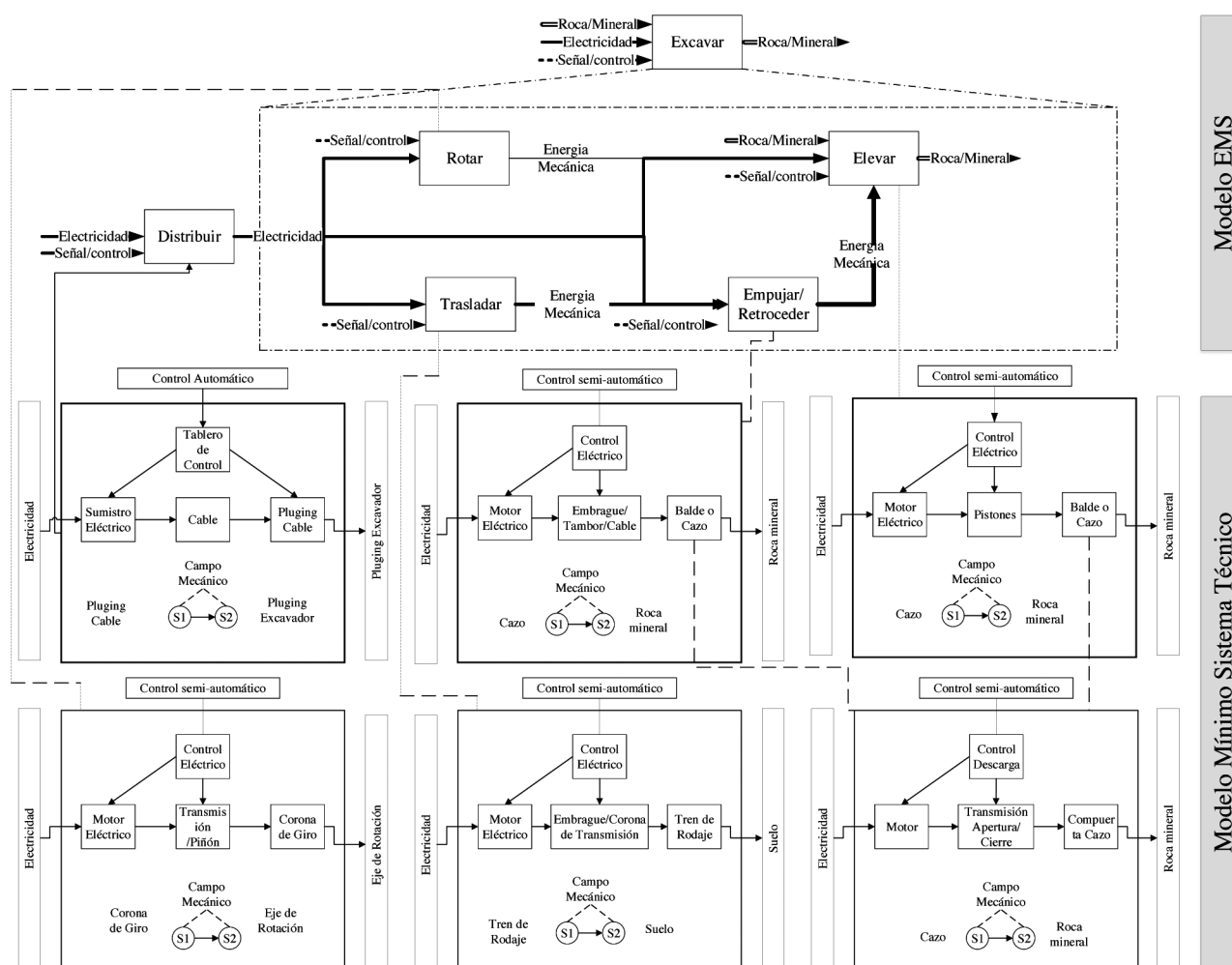


Figura 4: Modelo EMS, MTS y Substancia-Campo aplicado a la excavadora de cable minera

camente en Chile; adicionalmente el proyecto debe promover direcciones de estudios a los proveedores que participan en

la industria minera, el inicio del proyecto corresponde a septiembre del año 2010 con término en septiembre del año 2013.

Sistema de traslación	Subsistema de rotación	Subsistema de elevación
Chain track excavator	Swing ring gear,	Hoist power unit
Traveling crawler excavator,	Rotation ring gear	Hoist rope control
Travelling excavator	Swing pinion,	Power shovel hoist
Endless track excavator,	Swing electric excavator	
Undercarriage crawler	Rotation electric excavator	
Subsistema de empuje/retroceso	Subsistema cazo o balde	
Crowd mechanism	Bottom bucket excavator	
Crowd assembly	Emptying bucket excavator	
Crowd power shovel	Tripping dipper excavator	
Crowd Excavator	Emptying power shovel	

Figura 5: Palabras claves utilizadas en la búsqueda de información

Paso 1: Selección del sistema a analizar

El proceso de extracción del cobre en una mina de tajo abierto se puede describir en cuatro etapas principales:

1. perforación (se perfora la roca para depositar el explosivo)
2. tronadura (se fragmenta la roca)
3. transporte del mineral
4. procesamiento del mineral.

De estas cuatro etapas, el trans-

Componente	Descripción
SEE	Sistema excavadora de cable.
ST	Subsistema de traslación.
STCT	Conjunto de elementos participante en el control y transmisión del subsistema de traslación.
STCT1	(IPC E02F9/02 + IPC B60T1/06) códigos para el campo de control-transmisión del subsistema de traslación.
STCT2	(IPC E02F9/02 + IPC B62D11/08) códigos para el campo de control-transmisión del subsistema de traslación.
STCTT	Conjunto de elementos que pertenecen solo al área de la transmisión del subsistema de traslación.
STH	Conjunto de elementos que pertenecen al área de la herramienta del subsistema de traslación
STH1	(IPC E02F9/02 + IPC B62D55/30) códigos para el área de la herramienta del subsistema de traslación.
STH2	(IPC E02F9/02 + IPC B62D55/18) códigos para el área de la herramienta del subsistema de traslación.
STH3	(IPC E02F9/02 + IPC B62D55/26) códigos para el área de la herramienta del subsistema de traslación.
STG	(IPC E02F9/02 + IPC B62D55/#) códigos para el subsistema de traslación.
SR	Subsistema de rotación.
SRM	Conjunto de elementos que pertenecen al área del motor del subsistema de rotación.
SRM1	(IPC E02F# + IPC H02K# + B66C23/84) códigos para el área del motor del subsistema de traslación.
SRCT	(CPC E02F9/128+ IPC B66C23/84) códigos para el campo de control-transmisión del subsistema de rotación.
SRCTTHT	Conjunto de elementos que pertenecen solo al área de la transmisión del subsistema de rotación.
SRCTTHT1	(IPC E02F 9/12 + IPC B66C23/84 + IPC F16H#) códigos para el área de la transmisión del subsistema de rotación.
SRCTTHT2	(IPC E02F 9/12 + IPC B66C23/84 + IPC F16C2300/14) códigos para el área de la transmisión del subsistema de rotación.
SRTH	Conjunto de elementos participante en la transmisión y herramienta del subsistema de rotación.
SRTH1	(IPC E02F 9/12 + IPC B66C23/84 + IPC F16C33/66) códigos para el campo transmisión-herramienta del subsistema de rotación.
SRTH2	(IPC E02F 9/12 + IPC B66C23/84 + IPC F16N11/00) códigos para el campo transmisión-herramienta del subsistema de rotación.
SRG	(IPC E02F9/12 + IPC B66C23/84) códigos para el subsistema de rotación.
SEM	Subsistema de empuje/retroceso.
SEMG	(CPC E02F3/304) para el subsistema de empuje/retroceso.
SEMCT1	(IPC E02F3/43 + CPC E02F3/304) códigos para el campo control-transmisión del subsistema empuje/retroceso.
SEMCTT	(IPC E02F 9/12 + IPC B66C23/84 + IPC F16N11/00) códigos para el área de la transmisión del subsistema de empuje/retroceso.
SEMLSC	Subsistema cazo que es la herramienta del subsistema de empuje/retroceso y subsistema de elevación.
SEMLSCCT	Conjunto de elementos participante en el control y transmisión del subsistema cazo (IPC E02F3/4075+ IPCF16F#) códigos para el campo control-transmisión del subsistema cazo.
SEMLSCTH	(IPC E02F3/4075) Conjunto de elementos participante en la transmisión y herramienta del subsistema cazo.
SEL	Subsistema de elevación
SELCT	Conjunto de elementos participante en el control y transmisión del subsistema de elevación.
SELCT1	(CPC E02F3/427+IPC E02F3/28+ CPC E02F3/308+ IPC E02F9/20+ IPC E02F3/30) códigos para el campo control-transmisión del subsistema de elevación.
SELCTT	(CPC E02F3/427+IPC E02F3/28+ CPC E02F3/308+ IPC E02F3/30) Conjunto de elementos participante en la transmisión del subsistema de elevación.
SELG	Búsqueda general realizada con los códigos (CPC E02F3/427) para el subsistema de elevación.

Figura 6: Descripción y códigos que representan al sistema, subsistema, componentes y partes de la excavadora

porte corresponde a una de las operaciones de mayor coste, debido a que posee la mayor cantidad de equipos con menor rendimiento productivo por equipo.

Este proceso comprende alrededor del 10% al 20% del costo mina [19] [20]. Dada esta problemática se decide estudiar los sistemas de transporte mineral, en particular las excavadoras de cable, debido a los siguientes motivos:

- i) Comprende una actividad de alto costo dada la poca eficiencia de estos equipos en terreno.
- ii) Las fallas en las excavadoras generan una disminución en la disponibilidad de la planta, y como consecuencia pérdidas económicas considerables.

Paso 2: Descripción del sistema

La principal función del sistema es excavar la roca desde la montaña para depositarla en un sistema de transporte de mineral, ya sean camiones o correas transportadoras. Las excavadoras están compuestas de diversos sistemas que ayudan a cumplir la función principal: i) subsistema de distribución de energía; ii) subsistema de rotación que permite que la pala

gire en distintos ángulos; iii) sistema de traslado, que permite mover la pala de una posición determinada a otra, iv) subsistema de empuje que corresponde a los elementos que distribuyen la fuerza necesaria para penetrar la roca, v) subsistema de elevación que corresponde a los elementos de levantamiento del cazo o balde. En la Figura 4 se presenta una descripción en base al modelo EMS, MTS y Sustancia-Campo para la excavadora.

Paso 3: Búsqueda e identificación de patentes

En esta sección se han identificado las palabras claves que permiten agrupar las patentes para cada uno de los elementos previamente descritos (Paso 2). Dado que el sistema de distribución de energía corresponde a un subsistema complementario y no está relacionado con las características específicas de la excavadora, se ha omitido la búsqueda para este subsistema. La búsqueda se realizó basándose en las palabras claves y códigos presentados en la Figura 5 y Figura 6.

Al terminar este paso se ha recolectado información de las bases de patentes, de acuerdo a los elementos que conforman la excavadora.

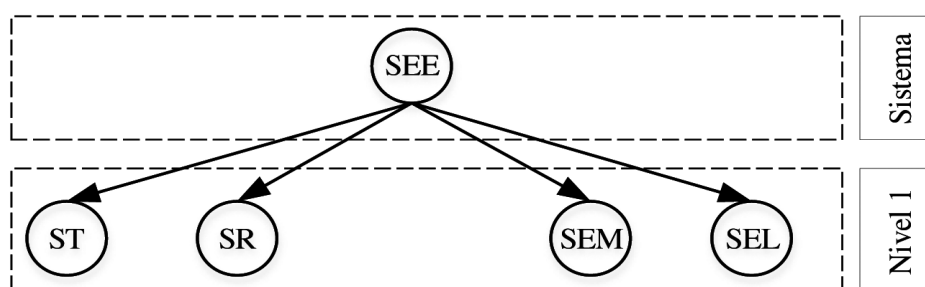


Figura 7: Primer nivel de la red bayesiana relacionada con cada uno de los subsistemas que componen la excavadora de cable

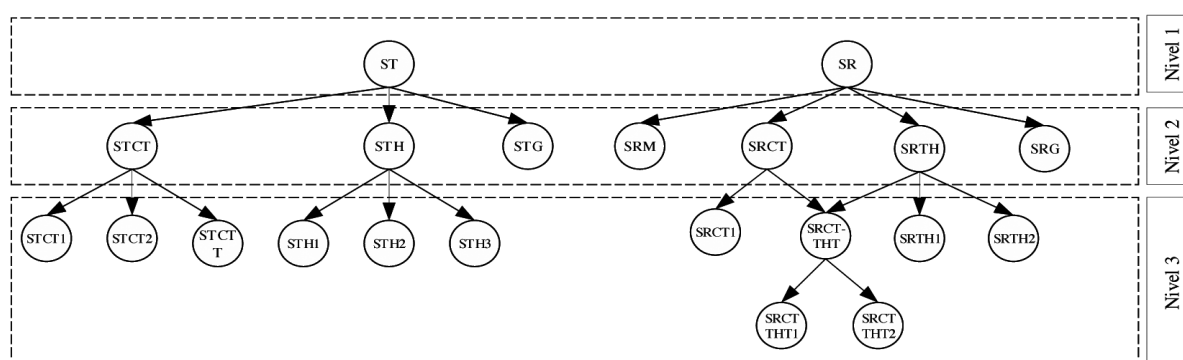


Figura 8: Primera parte red bayesiana para los elementos de la excavadora de cable

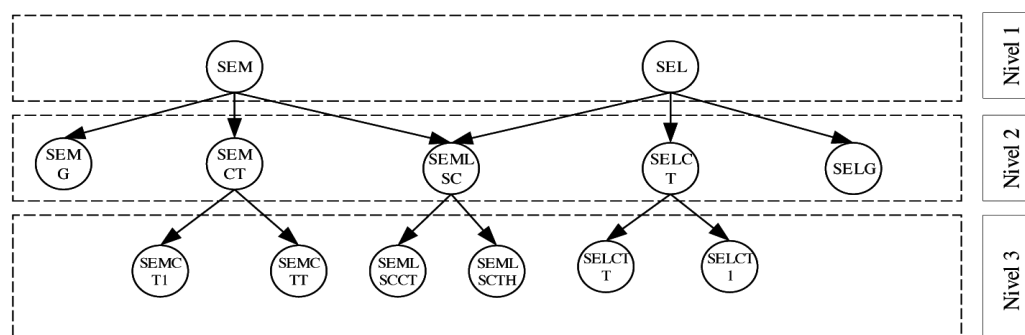


Figura 9: Segunda parte red bayesiana para los elementos de la excavadora de cable

Sistema	K [Patentes]	Δt [años]	T_m [año]	Número de Patentes Inicio 2013[Patentes]	Prob. Esperada año 2013	Etapas de acuerdo a curva logística (2013)
SEE	4.113	117	1.985	3.061	0,256	Crecimiento-Decaimiento
ST	1.014	46	1.991	904	0,109	Crecimiento-Decaimiento
STCT	100	44	1.983	96	0,049	Decaimiento
STCT1	19	50	1.980	18	0,052	Decaimiento
STCT2	25	35	1.975	25	0,009	Decaimiento
STCTT/STCTT1	74	56	1.994	60	0,183	Crecimiento-Decaimiento
STH	175	39	1.987	166	0,052	Decaimiento
STH1	83	49	1.994	71	0,149	Crecimiento-Decaimiento
STH2	64	33	1.985	63	0,022	Decaimiento
STH3	36	32	1.983	35	0,016	Decaimiento
STG	765	50	1.994	647	0,155	Crecimiento-Decaimiento
SR	602	40	1.982	583	0,032	Decaimiento
SRM/SRM1	149	48	2.032	22	0,855	Inicio-Crecimiento
SRCT	116	60	1.984	104	0,108	Crecimiento-Decaimiento
SRCT1	149	48	2.032	22	0,855	Inicio-Crecimiento
SRCTTHT	94	53	1.979	89	0,056	Decaimiento
SRCTTHT/SRCTTHT1	28	23	1.985	28	0,005	Decaimiento
SRCTTHT/SRCTTHT2	58	46	1.970	57	0,015	Decaimiento
SRTH	111	52	1.981	104	0,060	Crecimiento-Decaimiento
SRTH1	9	29	1.984	9	0,013	Decaimiento
SRTH2	6	16	1.981	6	0,001	Decaimiento
SRG	371	31	1.982	367	0,011	Decaimiento
SEM	784	59	1.932	782	0,003	Decaimiento
SEMG	322	51	1.924	322	0,001	Decaimiento
SEMCT	217	52	1.935	217	0,001	Decaimiento
SEMCT1	8	14	2.007	7	0,117	Crecimiento-Decaimiento
SEMCTT/SEMCTT1	215	50	1.935	214	0,001	Decaimiento
SEMLSC	243	70	1.939	240	0,010	Decaimiento
SEMLSCCT/SEMLSCCT1	21	77	2.024	7	0,651	Crecimiento
SEMLSCCTH/SEMLSCCTH1	238	68	1.939	236	0,008	Decaimiento
SEL	658	72	1.952	643	0,023	Decaimiento
SELCT	136	58	1.963	133	0,021	Decaimiento
SELCT1	135	57	1.962	133	0,015	Decaimiento
SELCTT/SELCTT1	123	56	1.962	121	0,017	Decaimiento
SELG	284	66	1.956	278	0,022	Decaimiento

Figura 10: Parámetros de las regresiones logísticas realizadas por cada elemento de la red Bayesiana de la excavadora

Paso 4: Creación de red bayesiana

Con la información recolectada se procede a crear la red bayesiana. Debido a que los elementos en análisis tienen distintos subsistemas, componentes y partes, la información se presenta en niveles:

- Nivel 1(subsistemas): corresponde a los nodos asociados a cada subsistema identificado en la descripción (Paso 2). Subsistemas tales como de traslación, rotación, elevación y empuje los cuales son característicos de la excavadora.
- Nivel 2(subsistemas-componentes): corresponde a los nodos hijos de los subsistemas, en particular componentes que caracterizan el MTS.
- Nivel 3(componentes-partes): corresponde a las patentes que caracterizan las partes del MTS (ej. Balde o Cazo poseen componentes y partes internas en un nivel de detalle mayor)

El diagrama de la red bayesiana final que representa a la excavadora fue dividido en tres figuras:

- Figura 7, corresponde a la red bayesiana que caracteriza el sistema y sus subsistemas,
- Figura 8 y Figura 9, corresponden a los niveles inferiores que se obtuvieron después del análisis de patentes y códigos para los componentes y partes respectivamente.

Finalmente en este paso se obtienen los nodos que representan al sistema excavadora en distintos niveles.

Paso 5: Aplicación de curvas logísticas acorde a la red bayesiana

En este paso se calculan las regresiones logísticas o curvas-s por cada nodo. En la Figura 10 se presentan los parámetros que caracterizan la curva-s (K , t_m , Δt), además del número de patentes para el año 2013. Por cada nodo es calculada también la probabilidad esperada. Adicionalmente se presenta la etapa del ciclo tecnológico en la cual debería encontrarse el nodo, utilizando una perspectiva cualitativa.

Paso 6: Identificación de Oportunidades

Finalmente se calcula el indicador IO para cada uno de los nodos. Para expresar los resultados de una manera clara, los valores del indicador IO son normalizados para cada uno de los niveles; el indicador de mayor valor en cada nivel es de color verde y el indicador de menor valor es rojo. Para el nivel 1, el subsistema que presenta una mayor oportunidad de desarrollo corresponde al subsistema de traslación. Los componentes del MTS (Nivel 2) corresponden a los elementos generales tales como orugas, engranes, dientes de tracción caracterizados por los códigos IPC E02F9/02 AND IPC B62D55/00. En el nivel 3 las partes que poseen mayores oportunidades de desarrollo corresponden a la transmisión y herramientas de rotación del componente de empuje. (Figura 11 y Figura 12).

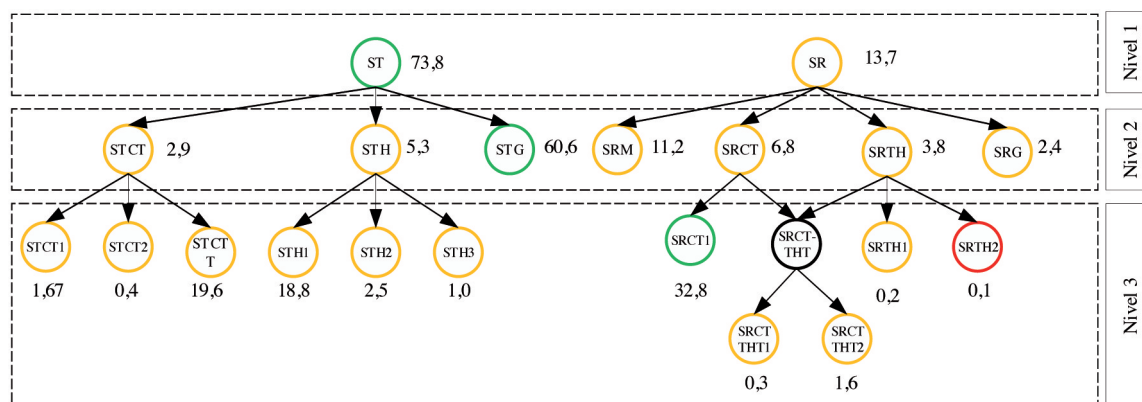


Figura 11: Resultados primera parte de la red bayesiana para excavadora de cable

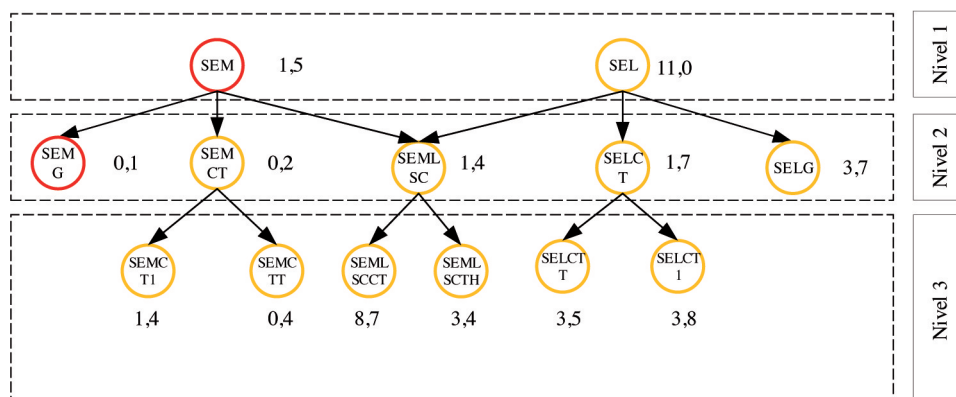


Figura 12: Resultados segunda parte de la red bayesiana para excavadora de cable

5. DISCUSIÓN Y LIMITACIONES

El objetivo de la metodología propuesta es ayudar a desarrollar un análisis estructurado de una tecnología para la apropiada toma de decisiones, utilizando la información de patentes como fuente de información, en conjunto con modelos de regresiones logísticas.

Según el tipo de tomador de decisión, la empresa puede decidir: en qué componentes y/o subsistemas direccionar sus esfuerzos empresariales, por ejemplo invertir en un subsistema específico o en un componente de una tecnología.

La aplicación de la metodología puede aparentar ser muy extensa para su aplicación, sin embargo la obtención de información puede ser mejorada y adaptada con el apoyo de herramientas computacionales, tales como minería de textos.

Adicionalmente, el paso de descripción del sistema puede estimular la discusión constructiva entre diversos tipos de analistas tales como, especialistas en patentes, investigadores y gerentes. En específico, el caso de estudio ha revelado que la importancia de los expertos tecnológicos es esencial para ordenar, aumentar la consistencia y robustez de la metodología.

Aspectos interesantes aparecen al ver los resultados. Primero, analizando la totalidad de los resultados (Figura 11 y Figura 12), se puede apreciar que el sistema más atractivo corresponde al sistema de traslación (ST). Segundo, analizando resultados parciales, en particular los nodos-hijos, el componente de control y trasmisión (SRCT1) muestra un potencial alto respecto a sus pares. Estos resultados parecen apoyar el

supuesto inicial, que distintas partes de un sistema tecnológico evolucionan de una manera diferente. Los valores presentados en la Figura 10, muestran cómo las tecnologías asociadas a la minera se encuentran en una etapa de madurez, específicamente los esfuerzos asociados a reducir el consumo de recursos y a la mejora productiva [26].

El modelo presentado puede ser considerado como transversal y ser utilizado complementariamente con modelos estocásticos tales como: *Cadena de Markov* y *Modelo oculto de Markov jerárquico*, no obstante los resultados se podrían ver afectados, ya que dependen de los supuestos realizados en la evolución de cada nodo.

Desde un punto de vista de la metodología, las limitaciones están asociadas a la búsqueda de información y el tiempo requerido para aplicarla. Sin embargo, una vez realizado el análisis por primera vez éste solo tiene que ser actualizado acorde a la evolución real del sistema en el tiempo. Potencialmente la metodología puede ser utilizada por cualquier tipo de empresa independiente del tamaño y estructura organizativa, ya que solo emplea información disponible en los buscadores que son de libre acceso como WIPO, ESPACENET y USPTO.

Desde un punto de vista de la metodología, las limitaciones están asociadas a la búsqueda de información y el tiempo requerido para aplicarla. Sin embargo, una vez realizado el análisis por primera vez éste solo tiene que ser actualizado acorde a la evolución real del sistema en el tiempo. Potencialmente la metodología puede ser utilizada por cualquier tipo de empresa independiente del tamaño y estructura organizativa, ya que solo emplea información disponible en los buscadores que son de libre acceso como WIPO, ESPACENET y USPTO.

6. CONCLUSIONES

La metodología propuesta ha permitido analizar una de las tecnologías relacionadas al proceso de transporte minero, la cual para el caso de estudio, corresponde a una de las tecnologías críticas del proceso. Considerando distintos niveles de análisis, por cada nivel fue identificado el nodo más relevante de acuerdo al número de patentes y probabilidad esperada que posee cada nodo.

De acuerdo con los objetivos del Proyecto Cluster Minero, la metodología ayudó a focalizar los futuros estudios de Investigación y Desarrollo para los subsistemas de excavadora de cables, así como también los componentes que requieren mayor atención en el futuro.

El uso de patentes en combinación con curvas logísticas permite determinar la tendencia de evolución utilizando una perspectiva medible en su número de patentes. La utilización de una correcta representación del sistema integrada a

un diagrama de redes bayesianas proporciona información sobre los nodos más interesantes para un tiempo determinado. El Indicador de Oportunidad (IO) es considerado como una medida entre la evolución actual del sistema en conjugación con el desarrollo futuro. No obstante los tomadores de decisiones pueden utilizar otros métodos alternativos para la toma de decisión, considerando solo el peso o la probabilidad del sistema individualmente, adicionalmente modelos más complejos para la toma de decisión pueden adicionarse acorde las competencias de la empresa en un elemento determinado.

Es importante destacar el rol de los analistas que participan en el desarrollo de la metodología, así como también la identificación de patentes relacionadas con los subsistemas y componentes que son del interés de la empresa. Futuros trabajos se orientan a crear herramientas para la identificación de patentes utilizando herramientas de minería de textos con el objetivo de aumentar la eficiencia de los buscadores de información asociadas a esta metodología, así como integración de métodos de decisión relacionados al interés de la empresa sobre un elemento determinado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Nikulin, C., Graziosi, S., Cascini, G., and Stegmaier, R. Integrated Model for Technology Assessment and Expected Evolution: A Case Study in the Chilean Mining Industry. *Journal of Integrated Design and Process Science*. DOI: <http://dx.doi.org/10.3233/jid-2013-0013>
- [2] Porter, A. L. et al. "Technology Future Analysis: Toward integration of the field and new methods". *Technological Forecasting and Social Change*. 2004. Vol-71, p. 287-303. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2003.11.004>.
- [3] Coates,V, Faroque,M., Klavins, R., Lapid,K, Linstone, H.A., Pistorius, A. and Porter, A.L., "On the future of technological forecasting". *Technological Forecasting and Social Change*, 2001. Vol.67-1. p.1 – 17.DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1625\(00\)00122-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1625(00)00122-0)
- [4] Brandmaier, A. M., von Oertzen, T, McArdle, John J., Lindenberger, U." Structural equation model trees." *Psychological Methods*, Vol.18-1. p.71-86. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/a0030001>
- [5] Levary, Reuven R. and Dongchui Han. "Choosing a technological forecasting method." *INDUSTRIAL MANAGEMENT-CHICAGO THEN ATLANTA-* 3.1995.
- [6] Woundenberg, F. "An evaluation of Delphi", *Technological Forecasting and Social Change*.1991. Vol.-40. p. 131 – 150. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0040-1625\(91\)90002-W](http://dx.doi.org/10.1016/0040-1625(91)90002-W).
- [7] Connelly, M. C., Dismukes, J. P. and Sekhar, J. a. "New relationships between production and patent activity during the high-growth life cycle stage for materials". *Technological Forecasting and Social Change*. 2011.Vol. 78-2. p.303-318. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2010.10.004>
- [8] Altshuller, G.S. Creativity as an exact science: The theory of the solution of inventive problems. (A. Williams, Trans.)1984. Gordon and Breach Science Publishers. (Original work published 1979).
- [9] World Intellectual Property Organization. (2012). Guide to the IPC. Retrieved from <http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/general/>.
- [10] Daim, T. U., Rueda, G., Martin, H. and Gerdri, P. "Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis". *Technological Forecasting and Social Change*. 2006. Vol. 73-8. p. 981-1012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2006.04.004>
- [11] Yoon, B., and Lee, S. "Applicability of Patent Information in Technological Forecasting: A Sector-specific Approach". *Journal of Intellectual Property Rights*. 2012. Vol. 17. p. 37-45. Retrieved from <http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/13409>
- [12] CORFO (2010), Mining Cluster in Chile, available on-line at www.unido.org.
- [13] Meyer, P. S., Yung, J. W. and Ausubel, J. H. "A Primer on Logistic Growth and Substitution The Mathematics of the Loglet Lab Software". *Technological Forecasting and Social Change*. 1999. Vol-61. p. 247-271. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00021-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00021-9).
- [14] Fekedulegn, D, M. P. Mac Siurtain and J. J. Colbert. "Parameter Estimation of Nonlinear Growth Models in Forestry". *SILVA FENNICA*. 1999. Vol. 33-4. p. 327-336.
- [15] Cascini, G., Rotini, F. and Russo, D. "Networks of trends: Systematic definition of evolutionary scenarios". *TRIZ Future Conference 2008, Procedia Engineering*. 2011. Vol- 9, p. 355-367. DOI: [10.1016/j.proeng.2011.03.125](http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.125).
- [16] Heckerman, D. "Probabilistic similarity networks". *Networks*.1990. Vol. 20-5. p. 607-636.DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/net.3230200508>
- [17] Bewley, R. and Griffiths, W. E. "A forecasting comparison of classical and Bayesian methods for modelling logistic diffusion". *Journal of Forecasting*. 2001. Vol. 20-4. p.231-247. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/for.793>
- [18] Miranda, L. C. M. and Lima, C. a. S. "A new methodology for the logistic analysis of evolutionary S-shaped processes: Application to historical time series and forecasting". *Technological Forecasting and Social Change*. 2010. Vol. 77-2. p. 175-192. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2009.07.007>
- [19] S.A. P. M. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*. Antofagasta: Portal Minero Ediciones.
- [20] Sustainable Development Strategies Group, (2010) Report: current issues in the Chilean mining sector, available on-line at www.sds.org.
- [21] Tsoularis, a. and Wallace, J. "Analysis of logistic growth models". *Mathematical Biosciences*.2002. Vol. 179-1. p. 21-55. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-5564\(02\)00096-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-5564(02)00096-2).
- [22] Eynaud, Y., Nerini, D., Baklouti, M., and Poggiale, J. C. "Towards a simplification of models using regression trees." *Journal of The Royal Society Interface*, 2013, Vol. 10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2012.0613>
- [23] Gilks, Walter R., Sylvia Richardson, and David J. S., eds. *Markov chain Monte Carlo in practice*. Vol. 2. CRC press, 1996.
- [24] Koya, P. and Goshu, A. (2013) Generalized Mathematical Model for Biological Growths. *Open Journal of Modelling and Simulation*, Vol.1. p.42-53. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ojmsi.2013.14008>.
- [25] Marinakis, Y. D. (2012). Forecasting technology diffusion with the Richards model. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 79-1.p 172-179. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2011.02.010>
- [26] Worrell, E., Laitner, J.A., Ruth, M., and Finman, H. (2003). "Productivity benefits of industrial energy efficiency measures". *Energy*. Vol.28-11. p.1081-1098.DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442\(03\)00091-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442(03)00091-4).