

APLICACIONES DE LA MINERÍA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA

APPLICATIONS OF MINING TECHNOLOGY FOR ENGINEERING
PROJECT MANAGEMENT

APLICAÇÕES DA MINERAÇÃO TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO
DE PROJÉTOS DE ENGENHARIA

DOI: rces.v23n34.a10

Recibido: 01/04/2015

Aceptado: 01/10/2015

Ana María Luque-Clavijo

Universidad Santo Tomás (División de Ingenierías, Especializaciones en Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones, Grupo de Investigación Calidad y Gestión Integral), Bogotá, Colombia, Máster en Administración,
Correo electrónico: analuque@usantotomas.edu.co

Félix Germán Fajardo-Prieto

Universidad Santo Tomás (División de Ingenierías, Especializaciones en Ingeniería Electrónica y de Telecomunicaciones, Coordinación), Bogotá, Colombia, Máster en Docencia,
Correo electrónico: felixfajardo@usantotomas.edu.co

APLICACIONES DE LA MINERÍA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA

Resumen

La minería tecnológica se define como la aplicación de herramientas de minería de texto en relación con la información proveniente de la ciencia y la tecnología, para entender los procesos de innovación tecnológica y por consiguiente proveer información para la toma de decisiones. En este caso en particular se aplica para identificar los aspectos más relevantes, relacionados con las metodologías y los estándares disponibles para la gestión de proyectos en ingeniería, tanto con fines comerciales como académicos.

Los resultados mostraron ocho áreas de interés, que se interrelacionan y se muestran en un mapa de correlación de palabras clave. El análisis no proporcionó evidencias significativas frente a la mejor práctica; es decir, los gerentes de proyectos deben estar en la capacidad de integrar tanto los conocimientos conseguidos en la academia como en los nuevos desarrollos tecnológicos y la experiencia en cada uno de los sectores económicos en los cuales se desempeñan, para definir la metodología y los estándares apropiados para asegurar el óptimo desempeño del proyecto. Es así como la mayoría de las compañías que han documentado sus experiencias al respecto, reportan la necesidad de generar herramientas propias ajustadas a sus necesidades y experiencias.

Palabras clave

Gestión de proyectos, metodología, estándares, ingeniería, minería tecnológica

CLASIFICACIÓN JEL: O22, O35, M15

APPLICATIONS OF MINING TECHNOLOGY FOR ENGINEERING PROJECT MANAGEMENT

Abstract

Tech mining is defined as the use of text mining tools regarding information from science and technology in order to understand processes of technological innovation and, thus, provide information for decision-making. It is used in this specific case to identify the most relevant aspects associated to the methods and standards available for project management in engineering, with both commercial and academic purposes.

The results showed eight areas of interest, which were interrelated and are shown on a key work correlation map. Analysis did not offer significant evidence regarding the best practice; in other words, project managers must be able to integrate the knowledge obtained academically, the new technological developments, and the experience obtained in each of the financial sectors where they work in order to establish the appropriate methods and standards to ensure the optimal performance of the project. Most companies that have documented their experiences in this area report the need to generate their own tools to meet their specific needs and experiences.

Key Words

Project management, methods, standards, engineering, tech mining

APLICAÇÕES DA MINERAÇÃO TECNOLÓGICA PARA A GESTÃO DE PROJETOS DE ENGENHARIA

Resumo

A mineração tecnológica se define como a aplicação de ferramentas de mineração de texto em relação com a informação proveniente da ciência e a tecnologia, para entender os processos de inovação tecnológica e por conseguinte fornece informação para a toma de decisões. Neste caso em particular, se aplica para identificar os aspectos mais relevantes relacionados com as metodologias e padrões disponíveis para gestão de projetos em engenharia, tanto com fins comerciais como acadêmicos.

Os resultados mostraram oito áreas de interesse, as quais se inter-relacionam e se mostram em um mapa de correlação de palavras chave. A análise não proporcionou evidências significativas frente à melhor prática; ou seja, os gerentes de projetos devem estar na capacidade de integrar tanto conhecimentos conseguidos na academia, como nos novos desenvolvimentos tecnológicos e a experiência em cada um dos setores econômicos nos quais se desempenham, para definir a metodologia e padrões apropriados para assegurar o ótimo desempenho do projeto. É assim, que a maioria das companhias que documentaram suas experiências ao respeito, reportam a necessidade de gerar ferramentas próprias ajustadas a suas necessidades e experiências.

Palavras-chave

Gestão de projetos, metodologia, padrões, engenharia, mineração tecnológica

I. Introducción

Estar actualizado de forma permanente, resulta casi imposible si se considera el número de publicaciones y de datos que se generan diariamente en todo el mundo. El uso de herramientas apoyadas en la minería de textos ha facilitado el procesamiento y el análisis de dichos datos, para convertirla en información de interés de acuerdo a las necesidades y experiencias de las organizaciones, sin importar el sector empresarial al cual pertenezcan.

En particular, las metodologías y los estándares utilizados en la gestión de proyectos de ingeniería, han llamado la atención de la Universidad Santo Tomás, toda vez que cuenta con programas académicos posgraduales relacionados y, por supuesto, debe procurar la actualización tecnológica periódica de sus contenidos, para construir con sus estudiantes, como actores responsables de la proyección social de su entorno, un nuevo conocimiento aplicable a las necesidades del país.

Adicionalmente, conocer las tendencias de desarrollo al respecto contribuye a la elección de las metodologías y los estándares, y de ser necesario la combinación de algunos de ellos, para adelantar con éxito la gestión de proyectos de ingeniería, en diferentes sectores de la economía, y por consiguiente adquirir beneficios comerciales en las empresas que se dedican a este tipo de actividad.

El objetivo de este artículo es mostrar los resultados de las metodologías y los estándares utilizados en la gestión de proyectos de ingeniería, a partir de la aplicación de la metodología de minería tecnológica propuesta por Porter y Cunningham (2005).

Los resultados se presentan a través de un mapa de correlación de palabras clave, que proporcionó nodos que posteriormente se agruparon en regiones, de acuerdo a las relaciones semánticas proporcionadas por el *software* utilizado. Dichas áreas dieron lugar a ocho temas de interés

que demuestran la integralidad que se debe tener para gestionar proyectos de ingeniería, ya sean estos proyectos relacionados con resultados tangibles (productos) o intangibles (procesos y servicios).

Aunque en el mercado existen metodologías y estándares disponibles para la gestión de proyectos, algunos de ellos especializados para ingeniería, las tendencias indican que no existen fórmulas exitosas predefinidas, sino que, por el contrario, el gestor de proyectos debe conocer las necesidades y expectativas de sus clientes para conformar la mejor combinación de metodologías, estándares y experiencias que respondan a la obtención de resultados óptimos para todas las partes interesadas.

2. Metodología

La minería tecnológica es la aplicación de herramientas de minería de texto en relación con la información proveniente de la ciencia y la tecnología, para entender los procesos de innovación tecnológica y, por consiguiente, proveer información para la toma de decisiones. La metodología incluye nueve pasos, a saber: identificación del problema, selección de fuentes de información, búsqueda y recolección de datos, limpieza de datos, análisis básicos, análisis avanzados, representación, interpretación y utilización (Porter y Cunningham, 2005).

La identificación del problema, que en otras palabras constituye el objetivo por el cual se realizará la minería, fue el desconocimiento del estado de desarrollo de los estándares y las metodologías utilizados en la gestión de proyectos de ingeniería desde que se empezó a documentar el tema.

Para abordar el anterior problema, se selecciona como fuente de información la base de datos Scopus®, en la que la búsqueda y la recolección de datos se realizan a través de la cadena o la ecuación de búsqueda (1), formando un conjunto de datos de 3862 registros.

(TITLE-ABS-KEY ("Project management") AND TITLE-ABS-KEY (standard OR methodology) AND TITLE-ABS-KEY (engineering)) (1)

La limpieza de datos se realiza con el software Vantage Point®, al igual que los análisis básicos, los análisis avanzados y la representación. Los análisis básicos incluyeron la identificación de afiliación institucional, la afiliación geográfica y las fechas de publicación de los registros; mientras que los análisis avanzados, que constituyen el principal enfoque de interpretación para este artículo, se centraron en mapas de autocorrelación de palabras clave.

Finalmente, la utilización de los resultados se ha centrado en el ámbito académico, con el fin de actualizar los programas académicos posgraduales relacionados con el tema en la Universidad Santo Tomás.

3. Resultados y análisis

El análisis básico muestra que hay cinco categorías para la afiliación institucional, como la academia, en donde se encuentra la mayoría del total de registros, liderada por Purdue University y Loughborough University, empresas privadas como IBM y BP (British Petroleum), asociaciones tales como ASCE (American Society of Civil Engineers) e IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), centros de investigación como el EMI (Ernst Mach Institute) y el Georgia Institute of Technology; y entre de las instituciones públicas se encuentran la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y la ESA (European Space Agency).

La afiliación geográfica incluye países de los cinco continentes, liderados por Estados Unidos y el Reino Unido. Las fechas de publicación de los registros muestran que las metodologías y los estándares para la gestión de proyectos iniciaron su documentación en 1963, con una mayor producción entre el 2004 y el 2007; en la actualidad su dinámica de producción es limitada.

En cuanto a los resultados del análisis avanzado, los nodos resultantes del mapa de autocorrelación de palabras clave (figura 1) dieron origen a ocho regiones que se han denominado *educación*, *herramientas cuantitativas*, *dimensionamiento de impactos sociales*, *fuentes de información*, *gestión de la ciencia*, *aseguramiento y control de calidad*, *gestión industrial* y *sistemas de información*.

Dichas regiones aplican tanto a los productos como a los servicios de la ingeniería, y a continuación se amplían en detalle.

3.1. Educación

En la figura 1 área A, se localizan nodos pertenecientes a la región denominada *educación*, la cual sugiere una alta influencia en los estudiantes y la forma de adquirir el conocimiento, las habilidades y el reconocimiento del entorno como punto de partida en la formulación de soluciones y el dimensionamiento de impactos para la gestión de proyectos de ingeniería.

Así, la adquisición de conocimiento se encuentra centralizada en el estudiante, por cuanto experiencias como el aprendizaje basado en proyectos han demostrado excelentes resultados al respecto (Layton, 2003), en especial durante los primeros años de estudio (Goff, Terpenney y Williams, 2009), en los que la creatividad constituye una de las principales habilidades que deben desarrollar los estudiantes de ingeniería (Shields, 2007; Raviv, 2002).

Los programas de ingeniería deben garantizar la inclusión de la ética como un factor de alta calidad (Cruz, Frey y Sánchez, 2002), así como la evaluación y la actualización de los mismos, para que el estudiante cuente con competencias tanto personales como en las técnicas apropiadas (Freeman, Jaeger y Whalen, 2005). El ambiente de estudio y los servicios complementarios pueden influir en el fortalecimiento de dichas competencias (Brumm, Guardiola, Hanneman y Mickelson, 2001).

Para garantizar la actualización permanente de los estudiantes en su entorno laboral es deseable contar con equipos interdisciplinarios integrados con el sector industrial, que participen de forma activa en la formación de ingenieros (Quinn y Schuyler, 2003; Berri, Zhang, Heng y Zia, 2011); además, resulta importante motivar iniciativas de actualización en el estudiante para el futuro (Fang, Johnson y Wang, 2008), a través de la inclusión de tecnologías blandas y duras de forma dinámica durante toda la formación. (Ver figura 1 siguiente página)

3.2. Herramientas cuantitativas

A continuación, en el mapa de autocorrelación (figura 1, área B), se encuentra la región denominada *herramientas cuantitativas*, ya que su conocimiento y su aplicación son determinantes en el diseño y el desarrollo de productos de ingeniería. En particular, la generación de metodologías como INRECA, que toma aplicaciones de razonamiento basado en casos de desarrollo industrial para la toma de decisiones (Althoff, Bergmann, Breen, Göker, Manago, Traphöner, *et al.*, 2003), el metametamodelado que utiliza los estándares EIA/CDIF (Electronic Industries Alliance/CASE Data Interchange Format) para el modelado de sistemas de información y su intercambio entre herramientas de *software* asistido por computador de diferentes proveedores (Flatscher, 2002), y la visualización de las operaciones de construcción simuladas en 3D, que pueden facilitar las operaciones complejas de construcción y la toma de decisiones óptimas por encima de los métodos tradicionales (Kamat y Martínez, 2001).

En relación con lo anterior, las principales aplicaciones responden a necesidades de la ingeniería que requieren de ambientes tridimensionales, como en el caso de los proyectos de construcción (Froese, 1996; Bansal y Pal, 2008), la planeación de ciudades a partir de sistemas de información geográfica (Gröger y Plümer, 2012) y la generación de estrategias militares (Baybrook, 1994), la planificación del mantenimiento de grandes estructuras (El-Rayes y Kandil,

2005) y la formulación de planes de producción a partir de modelos biológicos (Kretz, Militzer, Soika y Teich, 2011; Jiang, Kong, Li y Xie, 2010).

Otra de las aplicaciones de las herramientas cuantitativas en la gestión de proyectos de ingeniería está orientada hacia la gestión de inversiones que puede utilizar herramientas basadas en el mejoramiento de procesos como el CMM (Capability Maturity Model) y el JBPM (Jade Bird Process Management) (He, Li y Wang, 2005), modelos de regresión lineal (Brinkkemper, Schalken y Van Vliet, 2006) y CIM (Computer Integrated Manufacturing), para la integración de sistemas de información y de conocimiento (Jost y Scheer, 1993), entre otros.

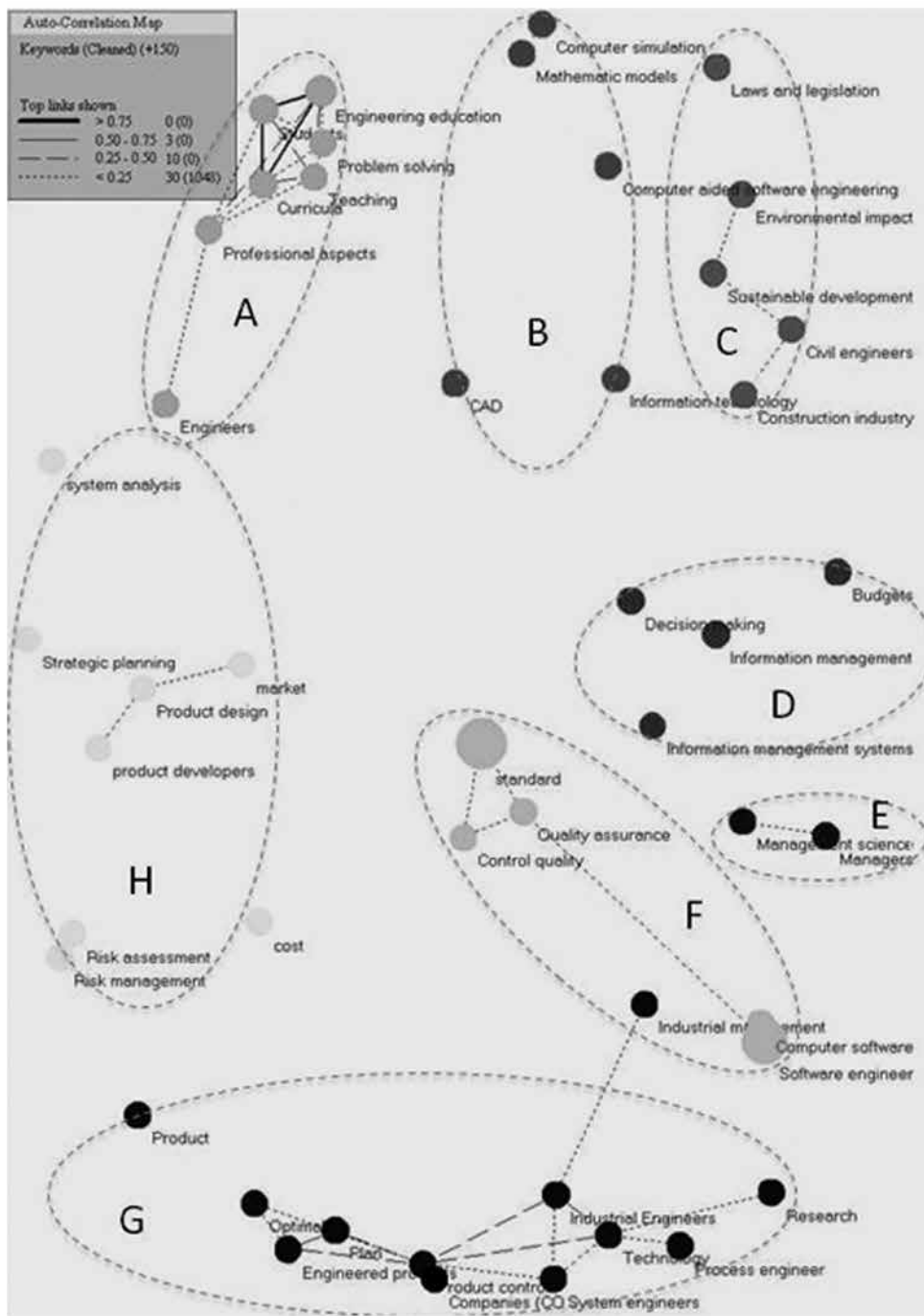
Así, el procesamiento de los datos (cuantitativos) es determinante para el éxito de los resultados, ya que además puede contribuir en el mejoramiento de los sistemas de información de las empresas, de sus sistemas de calidad y de la detección de las mejores prácticas en el sector (Benchmarking).

3.3. Estimación de impactos

En el área C de la figura 1, a la que se le denominó *estimación de impactos*, se desarrollan temas como la protección al medioambiente (Riley, 1999), el uso de materiales amigables con el medioambiente (Sissell, 2004), los accidentes laborales y su impacto en los costos de producción del proyecto (Finishing, 2004), y en general el desarrollo sostenible basado en decisiones multicriterio (Balali, Hosseini y Roobahani, 2004).

La industria de la construcción es la que mayores desarrollos presenta en ese aspecto, con herramientas como los sistemas de construcción inteligente (Kurdziel, Nelson, Nystrom y Peterson, 2004), los modelos de visualización 4D (Castro, Dawood y Shah, 2008), las construcciones sostenibles (Attalla y Yousefi, 2009) y la salud ocupacional (Gambatese y Toole, 2002), entre otras, ya que son determinantes para la generación de una ingeniería de valor que maximice los recursos, disminuya los costos y controle los impactos derivados de dichos proyectos.

Figura 1. Mapa de autocorrelación de lapabras clave



Fuente: elaboración propia

3.4. Fuentes de información

Dentro de las consideraciones a tener en cuenta a la hora de emprender y desarrollar un proyecto se encuentran las fuentes de información de las que este se va a nutrir (figura 1, área D). Los datos (ya sea que concedan privilegios o restricciones) provienen principalmente de las normas y la legislación; las primeras son estándares de cumplimiento voluntario y la segunda proviene de cada uno de los gobiernos del sitio en donde se desarrolle el proyecto, y es de cumplimiento obligatorio, lo que afecta en gran medida el proceso de toma de decisiones, que guarda especial relación con la estimación de los impactos (protección ambiental, sociedad y aspectos económicos).

La legislación contribuye en gran medida con la gestión del riesgo en los proyectos. Un ejemplo de ello son las metodologías relacionadas con los sistemas jerárquicos de control, implementadas en proyectos de desarrollo de *software* (Lau y Yuen, 2011), la aplicación de la ingeniería de valor (Callender, Jamieson y Vinsen, 2004) y el modelo COCOMO (Constructive Cost Model) (Boehm, Brown, Lane y Valerdi, 2005), todos ellos para el control de los presupuestos y los cronogramas del proyecto.

3.5. Gestión de la ciencia

La gestión de la ciencia (figura 1, área E) tiene como finalidad la inclusión de los resultados de investigación y desarrollo durante el ciclo de vida de los proyectos de ingeniería, en función de las necesidades del mercado, a partir de la integración de métodos, metodologías o encuestas, que sean acordes con la estructura y con el sector económico o industrial de interés (Lari, Maghareh y Mohammad Zadeh, 2011; Ding, Jamshidi, McMahon y Zeng, 2008; Obiajunwa, 2013).

Algunos de estos métodos incluyen el análisis de la ruta crítica, el diseño y la aplicación de algoritmos, el empoderamiento del personal, el diseño de procesos, la economía industrial, el análisis del ciclo de vida del proyecto y del

producto y, en general, la actualización del proceso de gestión a través de la inteligencia de negocios, la prospectiva, la definición de factores clave de éxito, los pronósticos, la reingeniería, la gestión del cambio y el *benchmark*.

3.6. Aseguramiento y control de calidad

La confiabilidad y el rendimiento tanto del diseño como del desarrollo de las soluciones, tangibles o intangibles, se logran a través del aseguramiento y el control de la calidad durante la realización del proyecto de ingeniería, apoyándose en estándares y especificaciones. Los estándares en su mayoría se encuentran normalizados, mientras que las especificaciones, al ser dadas por el cliente, son difícilmente replicables (figura 1, área F). En cualquier caso, estas condiciones, constituyen el parámetro de comparación entre las variables de entrada y el resultado de salida que determina la satisfacción del cliente. Métodos como el QFD (Quality Function Deployment) y el SQA (Software Quality Assurance) han sido ampliamente documentados en la literatura, ya que facilitan la transformación de los requerimientos del cliente en diseños de calidad (Chevlin y Jorgens, 1996; Jang, Jung, Lee, Lee y Park, 2005).

Otras de las herramientas que se observan con gran frecuencia para garantizar la calidad en los resultados son las denominadas *metodologías ágiles*, dentro de las cuales se mencionan *six sigma* (Baik, Choi, Pan y Park, 2007), INRECA (Althoff, Bergmann, Breen, Göker, Manago, Traphöner, *et al.*, 2003), técnicas para el funcionamiento de la calidad de la vida real de los productos de *software* (Lipaev, 2005), la implementación de estándares ISO (International Organization for Standardization) y el modelo CMM (Capability Maturity Model) (Paulk, 1995).

La mayoría de estas experiencias se encuentra con aplicaciones en la industria del *software*, puesto que la diversidad de requerimientos y recursos en constante cambio dificultan la apropiación de lecciones aprendidas, que repercuten en

pérdidas de tiempo, imagen corporativa de las empresas y en sus utilidades, por lo que muchas metodologías han procurado la gestión del conocimiento y la gestión del riesgo (Burton, McCaffery y Richardson, 2008), con beneficios en la ejecución de futuros proyectos y en la innovación.

3.7. Gestión industrial

En general, la gestión industrial (figura 1, área G) gira en torno al diseño y la ejecución del plan de producción (puede tener otras denominaciones de acuerdo al sector económico empresarial en el cual se desarrollen los proyectos). Metodologías como la teoría de decisión para la producción continua (Bakhrankova, 2010), el manejo de inventarios (Capraro, Gambier, Patino y Tosetti, 2008) y la planeación (Silva, 2009) demuestran considerables mejoras en estos planes. Aspectos como la integración de programas de diferentes sectores (por ejemplo el minero y el metalúrgico) (Chanda, 2007), las exigencias en la calidad del servicio QoS (Quality of Service) (Belkhouche y Jin, 2007; Anli, Caramanis y Paschalidis, 2007; Caramanis, Paschalidis y Wu, 2009), el análisis de sistemas, en especial enfocados a los servicios de salud (Bhuvanesh, Gandhi, Khasawneh, Lam, Shengyong y Srihari, 2007; Doolen y Worley, 2007), los sistemas de gestión enfocados a la calidad (Ishii, 2007; Wong, 2005; Anussornnitisarn, Helo y Phusavat, 2008) y la inclusión de sistemas informáticos como el CAE (Computer-Aided Engineering) muestran resultados determinantes para el diseño de estrategias de producción ajustadas a las necesidades y restricciones del medio, así como en el crecimiento de las utilidades fruto del proyecto.

3.8. Sistemas de información

Finalmente, en el área H de la figura 1 se encuentra la región denominada *sistemas de información*, que debe estar en función del diseño de la planeación estratégica y de las necesidades educativas del recurso humano que participa en los proyectos. Estos sistemas pueden estar soportados por múltiples aplicaciones informáticas disponibles en el

mercado, cada una con características particulares, que deben ser evaluadas por el gestor de proyectos, debido a que no son apropiados para todos los tipos de proyectos y sectores (Ferris, 2004; Kurutach y Suwanya, 2008).

Una de las principales funciones de los sistemas de información es la integración de datos que garantice la puesta del producto/servicio oportunamente en el mercado, ya sea por solicitud de un cliente o por la identificación de una oportunidad particular para la organización (Cahng y Lyu, 2010; Belay, 2009; Helo y Kekäle, 2008; Azernikov y Fischer, 2008), así como el diseño para la fabricación ágil (Frost y Haynes, 1994), lo que requiere de la incorporación y la apropiación de nuevas metodologías en las empresas (Dean y Desai, 2007).

Al igual que en la gestión industrial, las teorías de decisión se utilizan en los sistemas de información, pero en este caso para la gestión del riesgo en los proyectos PRM (Project Risk Management), sin una consideración particular de metodologías y estándares (Guo, Huang, Liu, Yu y Zhang, 2008; Nunes, Vasconcelos y Zhou, 2008; Ebecken, Fernandes y Fukayama, 2008; Mosleh y Smith, 2012), ya que se encuentran varias disponibles en el mercado.

La gestión del riesgo no solo anticipa posibles eventos no deseados durante el ciclo de vida del proyecto, sino que proporciona información para el desarrollo de futuros proyectos, por ejemplo el Roadmap (Ford, Geyer, Huber, Kolesnikov y Putov, 2010), la ingeniería social (Bahoumina, Fontaine, Lafay, Le Douaran, Leroy, Mestreet *al.*, 2010), el aseguramiento de la calidad a partir de la predicción de defectos (Ko, Baik, Choi, Hong y Ko, 2008) y la implementación de estándares de calidad, en especial en el sector de desarrollo de *software* (Koopman, 2010); cualquiera de ellos propicia el mejoramiento continuo del mismo.

La gestión ambiental también debe ser cubierta por los sistemas de información, por ejemplo a través de la construcción y el seguimiento de los indicadores ambientales (Álvarez, Ibáñez, Orejas, Peris-Mora y Subirats, 2005).

4. Prospectiva

Las aplicaciones de la minería tecnológica, en combinación con el uso de herramientas informáticas que apalanquen la “extracción” de la información más sensible para la toma de decisiones, se pueden conseguir a través de la combinación de otras técnicas de análisis de datos. Así, la generación de mapas factoriales a partir de bases de datos secundarias, tomadas de cada una de las regiones definidas en la figura 1, proporciona información adicional para cada una de las regiones; es decir que los datos generados a partir de un análisis de autocorrelación dejan de lado datos menos frecuentes pero con alta pertinencia para la interpretación de cada una de las regiones (Luque y Palop, 2014).

Un ejemplo de lo anterior lo constituye el análisis a través de un mapa factorial de la educación (figura 1, área A), que mostró la constitución de nuevas regiones solo para este tema, como son los estudiantes, los sistemas de calidad en educación, los sistemas de control y legislación, y los estándares, que resultan de gran interés para aplicaciones académicas como la actualización de contenidos curriculares, la introducción de nuevas actividades pedagógicas y la evaluación de las mismas en programas de educación superior (Luque, Palop y Fajardo, 2014).

5. Conclusiones

Cada una de las regiones identificadas proporciona información particular sobre metodologías y estándares para el gestor de proyectos. Así, se espera que en la educación, desde los primeros años de estudio, se introduzcan actividades tanto pedagógicas como técnicas, que potencialicen la creatividad y la capacidad de tomar decisiones de los profesionales, para que puedan desempeñarse en diferentes entornos.

La capacidad de búsqueda y la utilización de herramientas cuantitativas para solucionar problemas de ingeniería son

principalmente requeridas en proyectos especializados en diseño y desarrollo de producto. No solo es importante conocer las consideraciones matemáticas de la herramienta, sino también la capacidad de generar aplicaciones escalables con todos los miembros del equipo de trabajo, que incluyen las áreas de apoyo al proyecto.

En la gestión de un proyecto de ingeniería la estimación de los impactos debe calcularse e incluirse dentro de la ejecución del proyecto, ya que pueden afectar el desarrollo sostenible (economía, sociedad y medioambiente) tanto del proyecto como de su entorno; es importante mencionar que la industria de la construcción es la que mayores desarrollos presenta en este aspecto.

La principal fuente de información para la gestión de proyectos de ingeniería son las normas y la legislación, lo que sugiere el reconocimiento de entornos nacionales e internacionales de acuerdo con la naturaleza y localización del proyecto. Además, la gestión de la ciencia para transferir tecnologías al ciclo de vida de los proyectos en función de las necesidades del mercado y el aprendizaje a partir del aseguramiento y el control de la calidad no solo facilitan el cumplimiento de los requisitos del gobierno, del cliente y del proyecto, sino que contribuyen a la gestión del conocimiento, del riesgo y de la innovación, reflejados en procesos y productos exitosos. La industria del *software* ha documentado con mayor frecuencia estas consideraciones. El plan de producción es uno de los aspectos más desarrollados de la gestión industrial, que en especial considera la integración de diferentes sectores industriales, el servicio y la calidad con la inclusión de herramientas informáticas de apoyo, encaminadas a facilitar el control de las necesidades y las restricciones del medio.

Dado que el mapa de autocorrelación presentó una distribución similar a una circunferencia, los sistemas de información cierran un ciclo, por lo que se les ha considerado como el factor integrador de la gestión de proyectos de ingeniería en aspectos como la planeación, las necesidades educativas,

el mercado y el ambiente, entre otros. Dichos sistemas pueden estar soportados en *software*, bajo previa evaluación, por cuanto deben considerar los tipos de proyectos y sectores económicos de aplicación, así como la gestión del riesgo y la gestión del conocimiento para anticipar eventos no deseados.

Finalmente, los gerentes de proyectos deben estar en la capacidad de integrar los conocimientos conseguidos tanto en la academia como en los nuevos desarrollos tecnológicos en cada uno de los sectores en los que se llevan a cabo los proyectos, debido a que las metodologías y los estándares predefinidos no aseguran el desempeño óptimo de un proyecto; la mayoría de las compañías que han documentado sus experiencias al respecto reportan la necesidad de generar metodologías propias ajustadas a sus necesidades y experiencias.

Las técnicas de minería de tecnología, con la ayuda de herramientas de *software*, proporcionan un marco metodológico adecuado para identificar temas específicos de investigación y docencia; en particular, han proporcionado un panorama general de los temas a tener en cuenta para la gestión de proyectos de ingeniería y estándares y metodologías vinculados a cada una de ellas.

Referencias

- Althoff, K. D., Bergmann, R., Breen, S., Göker, M., Manago, M., Traphöner, R., *et al.* (2003). Developing Industrial Case-based Reasoning Applications: The INRECA Methodology. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, 1612. Irlanda, Alemania, Francia.
- Álvarez, P., Ibáñez, S., Orejas, J. M., Peris-Mora, E., y Subirats, A. (2005). Development of a system of indicators for sustainable port management. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12), 1649-1660.
- Anli, O. M., Caramanis, M. C., y Paschalidis, I. C. (2007). Tractable supply chain production planning, modeling nonlinear lead time and quality of service constraints. *Journal of Manufacturing Systems*, 26, 116-134. Recuperado de <http://www.bu.edu/pcms/caramanis/PublishedVersionAnliCaramanisPaschalidis.pdf>.
- Anussornnitisarn, P., Helo, P., y Phusavat, K. (2008). Expectation and reality in ERP implementation: Consultant and solution provider perspective. *Industrial Management and Data Systems*, 108(8), 1045-1059.
- Attalla, M., y Yousefi, S. (2009). Constructing sustainable buildings: Challenges with construction methodologies. *Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering*, 3, 1151-1160.
- Azernikov, S., y Fischer, A. (2008). Emerging non-contact 3D measurement technologies for shape retrieval and processing. *Virtual and Physical Prototyping*, 3(2), 85-91.
- Bahoumina, A., Fontaine, J. M., Lafay, P., Le Douaran, S., Leroy, A. S., Mestre, I., *et al.* (2010). Acting as a responsible key player through the integration of the societal engineering within the exploration and production processes. *Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production*, 3, 1569-1577.
- Baik, J., Choi, H., Pan, Z., y Park, H. (2007). A Six Sigma framework for software process improvements and its implementation. *Proceedings - Asia-Pacific Software Engineering Conference, APSEC*, 446-453.
- Bakhrankova, K. (2010). Decision support system for continuous production. *Industrial Management and Data Systems*, 110(4), 591-610.
- Balali, V., Hosseini, A., y Roozbahani, A. (2004). *Selecting appropriate structural system: Application of PROMETHEE decision making method*. 2nd International Conference on Engineering System Management and Applications, ICESMA.
- Bansal, V. K., y Pal, M. (2008). Generating, evaluating, and visualizing construction schedule with geographic information systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22(4), 233-242.
- Baybrook, T. (1994). Engineering with information systems. *Military Engineer*, 86(562), 25-27.
- Belay, A. M. (2009). Design for manufacturability and concurrent engineering for product development. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 37, 240-246.

- Belkhouche, F., y Jin, T. (2007). *Inventory optimization for repairable products considering the increase of MTBF and field installation*. IIE Annual Conference and Expo 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World - Conference Proceedings, Texas ,pp.1500-1505.
- Berri, S., Zhang, A. S., Heng, I., y Zia, F. (2011). *Introduction of mechatronic technology into cross-department product design curricula*. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. City University of New York, New York.
- Bhuvanesh, A., Gandhi, T., Khasawneh, M., Lam, S., Shengyong, W., and Srihari, K. (2007). *Using artificial neural networks for forecasting in healthcare: Methodology and findings*. IIE Annual Conference and Expo 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World - Conference Proceedings, New York, pp.382-387.
- Boehm, B., Brown, A. W., Lane, J. A., y Valerdi, R. (2005). COCOMO suite methodology and evolution. *CrossTalk*, (4), 20-25.
- Brinkkemper, S., Schalken, J., y Van Vliet, H. (2006). Using linear regression models to analyse the effect of software process improvement. *Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics*, pp. 234-248.
- Brumm, T. J., Guardiola, R., Hanneman, L. F., y Mickelson, S. K. (2001). *Development of workplace competencies sufficient to measure ABET outcomes*. ASEE Annual Conference Proceedings, Iowa State University, Iowa, pp.3865-3872.
- Burton, J., McCaffery, F., y Richardson, I. (2008). Improving software risk management practices in a medical device company. *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics*), 5007, pp.24-35.
- Cahng, L. Y., y Lyu, J. (2010). A reference model for collaborative design in mould industry. *Production Planning and Control*, 21(5), 428-436.
- Callender, G., Jamieson, D., y Vinsen, K. (2004). Use case estimation - The devil is in the detail. *Proceedings of the IEEE International Conference on Requirements Engineering*, pp.10-15.
- Capraro, F., Gambier, A., Patino, H. D., y Tosetti, S. (2008). Control of a production-inventory system using a PID controller and demand prediction. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 17.
- Caramanis, M. C., Paschalidis, I., y Wu, C. C. (2009). Production planning and quality of service allocation across the supply chain in a dynamic lead time model. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, pp.7137-7144.
- Castro, S., Dawood, N., y Shah, R. K. (2008). Automatic generation of progress profiles for earthwork operations using 4D visualisation model. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13, 491-506.
- Chanda, E. (2007). *Network linear programming optimisation of an integrated mining and metallurgical complex*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series, pp.149-155.
- Chevlin, D. H., y Jorgens III, J. (1996). Software requirements: Definition and specification. *Biomedical Instrumentation and Technology*, 30(2), 150-152.
- Cruz, J. A., Frey, W. J., y Sánchez, H. D. (2002). Ethics across the curriculum: An effective response to ABET 2000. *ASEE Annual Conference Proceedings*. University of Puerto Rico, Puerto Rico, pp.10689-10702.
- Dean, C., y Desai, S. (2007). *Concurrent material and process selection in a flexible design for manufacture paradigm*. IIE Annual Conference and Expo 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World - Conference Proceedings, pp.764-769.
- Ding, L., Jamshidi, J., McMahon, C. A., y Zeng, L. Y. (2008). Key characteristics management in product lifecycle management: A survey of methodologies and practices. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 222(8), 989-1008.
- Doolen, T. L., y Worley, J. M. (2007). *A research approach for investigating the turnover process in an operating room*. IIE Annual Conference and Expo 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World - Conference Proceedings, pp.499-504.
- Ebecken, N. F., Fernandes, E., y Fukayama, H. (2008). Risk management in the aeronautical industry: Results of an application of two methods. *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 39, 195-204.
- El-Rayes, K., y Kandil, A. (2005). *Multi-objective optimization for the construction of large-scale infrastructure systems*. Construction Research Congress 2005: Broadening Perspectives - Proceedings of the Congress, pp.1015-1025.

- Fang, A., Johnson, M., y Wang, J. (2008). *Enhancing and assessing life long learning skills through capstone projects*. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings. Texas A and M University, Texas.
- Ferris, S. (2004). On its own. *Cadalyst*, 21(8), 10-11.
- Flatscher, R. G. (2002). Metamodeling in EIA/CDIF - Metamodel and metamodels. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 12(4), 322-342.
- Ford, S., Geyer, T., Huber, E., Kolesnikov, E., y Putov, V. (2010). *The environmental roadmap: A management tool to address critical project environmental management issues*. Society of Petroleum Engineers - SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production 2010, United States, Rusia, Países Bajos, 4, pp.2451-2458.
- Finishing. (2004). The growing cost of accidents in the workplace. *Finishing*, 28(6), 16.
- Freeman, S. F., Jaeger, B. K., y Whalen, R. (2005). *Get with the program: Integrated project instead of a comprehensive final exam in a first programming course*. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, Northeastern University, pp.6831-6847.
- Froese, T. (1996). *Models of construction process information*. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 10(3), 183-193.
- Frost, N., y Haynes, I. (1994). Accelerated product development: an experience with small and medium-sized companies. *World Class Design to Manufacture*, 1(5), 32-37.
- Gambatese, J. A., y Toole, T. M. (2002). Primer on federal Occupational Safety and Health Administration standards. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 7(2), 56-60.
- Goff, R. M., Terpenney, J. P., y Williams, C. B. (2009). *Designing a service-learning design project for a first-year engineering course*. Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, pp.631-639.
- Gröger, G., y Plümer, L., CityGML. (2012). Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 12-33.
- Guo, J., Huang, Y., Liu, X., Yu, Z., y Zhang, L. (2008). *Implementing a quantitative-based methodology for project risk assessment DSS*. Proceedings of the 27th Chinese Control Conference, pp.730-734.
- He, X., Li, D., y Wang, Y. (2005). *A process management tool supporting component-based process development and hierarchical management mechanism*. Proceedings - Fifth International Conference on Computer and Information Technology, pp.906-910.
- Helo, P., y Kekäle, T. (2008). *Literature overview of modularity in world automotive industries*. PICMET: Portland International Center for Management of Engineering and Technology, Proceedings, pp.1595-1602.
- Ishii, G. (2007). *A study of knowledge succession in engineering process management*. Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, pp.1101-1107.
- Jang, Y. G., Jung, S. H., Lee, J. W., Lee, Y. J., y Park, S. C. (2005). System based SQA and implementation of SPI for successful projects. *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, IRI*.
- Jiang, G., Kong, J., Li, G., y Xie, L. (2010). *Combining production planning model of product line based on genetic algorithm*. 2010 International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering, pp.940-946.
- Jost, W., y Scheer, A. W. (1993). Knowledge-based optimization of CIM-systems using industry-specific reference-models. *IFIP Transactions B: Computer Applications in Technology*, pp.21-30.
- Kamat, V. R., y Martínez, J. C. (2001). *Visualizing simulated construction operations in 3D*. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15(4), 329-327.
- Ko, I. Y., Baik, J., Choi, H. J., Hong, Y., y Ko, I. Y. (2008). A value-added predictive defect type distribution model based on project characteristics. *Proceedings - 7th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science*, pp.469-474.
- Koopman, P. (2010). Risk areas in embedded software industry projects. *Proceedings - 2010 Workshop on Embedded Systems Education, WESE*.

- Kretz, D., Militzer, J., Soika, C., y Teich, T. (2011). *Generation of process variants in automated production planning by using Ant Colony Optimization*. 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, pp.52-56.
- Kurdziel, J. M., Nelson, C. R., Nystrom, J. A., y Peterson, D. L. (2004). Intelligent construction systems; the convergence of computing, communication, and construction. *Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources*, 104.
- Kurutach, W., y Suwanya, S. (2008). An analysis of software process improvement for sustainable development in Thailand. *Proceedings - 2008 IEEE 8th International Conference on Computer and Information Technology*, pp.724-729.
- Lari, E. S., Maghareh, M. R., y Mohammad Zadeh, S. (2011). Assessment of executive indexes in architectural projects. *Applied Mechanics and Materials*, 94-96, 2270-2275.
- Lau, H. C., y Yuen, K. K. (2011). A fuzzy group analytical hierarchy process approach for software quality assurance management: Fuzzy logarithmic least squares method. *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10292-10302.
- Layton, R. A. (2003). *Using modeling and simulation projects to meet learning objectives in an upper-level course in system dynamics*. ASEE Annual Conference Proceedings, Rose-Hulman Institute of Technology, Indiana, pp.6483-6495.
- Lipaev, V. V. (2005). Problems of the development and quality control of large software systems. *Programming and Computer Software*, 31(1), 47-49.
- Luque, A., Palop, F., y Fajardo, F. (2014). Consideraciones educativas para el diseño de programas de posgrado en gestión de proyectos en ingeniería apoyado en minería de textos. VI International Symposium on Project Approaches in Engineering Education PAEE.
- Luque, A., y Palop, F. (2014). *Defining Research Lines and Curriculum Contents with Help of Correlation and Factorial Analysis Techniques*. IV Global TechMining Conference.
- Mosleh, A., y Smith, C. (2012). *Quantifying impact of project risk decisions and dependencies within an integrated methodology*. 11th International Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and the Annual European Safety and Reliability Conference, Maryland, 2, pp. 871-880.
- Nunes, M., Vasconcelos, A., y Zhou, L. (2008). Supporting decision making in risk management through an evidence-based information systems project risk checklist. *Information Management and Computer Security*, 16(2), 166-186.
- Obiajunwa, C. C. (2013). Skills for the management of turnaround maintenance projects. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 19(1), 61-73.
- Pappas, E., y Pappas, J. (2003). *Creative thinking, creative problem-solving, and inventive design in the engineering curriculum: A review*. ASEE Annual Conference Proceedings, Virginia Tech, Virginia, pp.4641-4653.
- Paulk, M. C. (1995). How ISO 9001 compares with the CMM. *IEEE Software*, 12(1), 74-83.
- Porter, A., y Cunninigham, S. W. (2005). *Tech mining. Exploiting new technologies for competitive advantage*. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Quinn, K., y Schuyler, P. R. (2003). *An academic partnership with industry: A win-win situation*. ASEE Annual Conference Proceedings, University of Hartford, Connecticut, pp.2117-2122.
- Raviv, D. (2002). *Do we teach them how to think*. ASEE Annual Conference Proceedings, Florida Atlantic University, Florida, pp.6349-6367.
- Riley. (1999). The principles of environmental law as they affect engineering decision making. *IEE Colloquium (Digest)* (97), 1-9.
- Shields, E. (2007). *Fostering creativity in the capstone engineering design experience*. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, Youngstown State University, Ohio.
- Silva, C. (2009). Combining ad hoc decision-making behaviour with formal planning and scheduling rules: A case study in the synthetic fibre production industry. *Production Planning and Control*, 20(7), 636-648.
- Sissell, K. (2004). House passes green chemistry bill. *Chemical Week*, 166(14), 40.
- Wong, K. Y. (2005). Critical success factors for implementing knowledge management in small and medium enterprises. *Industrial Management and Data Systems*, 105(3), 261-279.