

INTERFASES

N.º 11 • Enero-diciembre 2018 • ISSN 1993-4912

REVISTA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

UNIVERSIDAD DE LIMA • FONDO EDITORIAL

Revista digital de la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lima

Edic. n.º 11 // Enero-diciembre 2018 // ISSN 1993-4912

Objetivo de *Interfases*

La revista digital *Interfases* es un espacio virtual, gestionado por la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Lima, para la difusión de los principales temas de actualidad relacionados con la integración de los procesos productivos y de servicios, las tecnologías de información y comunicación (TIC) aplicadas a la gestión empresarial y al desarrollo social, a través de artículos de investigación o de divulgación. *Interfases* es un punto de encuentro y colaboración de diferentes disciplinas. Con la ayuda de las TIC y los profesionales de Ingeniería de Sistemas, proponen, desarrollan e implementan soluciones factibles y viables para los principales problemas de gestión y desarrollo.

Público objetivo

- Profesionales e investigadores relacionados con la ingeniería de sistemas y afines.
- Estudiantes y docentes del pregrado y posgrado de ingeniería de sistemas.
- Público interesado.

Interfases

ISSN: 1993-4912 (Electrónico)

doi:

Periodicidad: Anual

Edición: n.º 11

Fecha publicación: Diciembre 2018

Arbitraje editorial: Revisión por pares de doble
ciego

Directorios y catálogos:

MIAR, Latindex, Dialnet

Las opiniones expresadas en los artículos
firmados son de exclusiva responsabilidad
de los autores. Los contenidos de la
revista *Interfases* son de acceso abierto
y se encuentran bajo la licencia Creative
Commons.

Universidad de Lima

Av. Javier Prado Este 4600, Urbanización
Monterrico Chico, Lima 33, Perú.
Apartado postal 852, Lima 100, Perú. Teléfono:
(511) 437-6767, anexo 30131
fondoeditorial@ulima.edu.pe
<http://www.ulima.edu.pe/>

Edición, diseño y diagramación: Fondo Editorial

Carrera de Ingeniería de Sistemas

[http://www.ulima.edu.pe/pregrado/ingenieria-
de-sistemas](http://www.ulima.edu.pe/pregrado/ingenieria-de-sistemas)

Contacto: rcheca@ulima.edu.pe

Director

Director

Julio Alejandro Padilla Solís

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Editora

Rocío del Pilar Checa Fernández

Carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Lima, Perú

Consejo de redacción

Michael Dorin (University of St. Thomas, Estados Unidos)

Emma Virginia Barreno Vereau (Universidad de Lima, Perú)

Jesús González-Feliu (École des Mines de Saint-Étienne, Francia)

Director

Julio Alejandro Padilla Solís
jpadilla@ulima.edu.pe

Editora

Rocío del Pilar Checa Fernández
rcheca@ulima.edu.pe

Comité de redacción

Michael Dorin (University of St. Thomas, Estados Unidos)
mike.dorin@stthomas.edu
Emma Virginia Barreno Vereau (Universidad de Lima, Perú)
Jesús González-Feliu (École des Mines de Saint-Étienne, Francia)

POLÍTICA EDITORIAL

Enfoque y alcance

Interfases es una revista académica en formato electrónico, que difunde los principales temas de actualidad relacionados con la Ingeniería de Sistemas y afines, tales como la integración de los procesos productivos y de servicios, y las tecnologías de información y comunicación (TIC), aplicados a la gestión empresarial y al desarrollo social.

De las secciones

Los artículos que conforman la revista se reúnen en dos secciones:

- i. Artículos de investigación: son textos inéditos que exponen los resultados de estudios realizados por los autores y que constituyen un aporte práctico y/o teórico en los principales tópicos de investigación de la Ingeniería de Sistemas y afines.
- ii. Artículos de divulgación: exponen el estado actual, la revisión crítica y los comentarios especializados, relacionados con las diversas líneas temáticas de la revista.

Proceso de revisión por pares

Las contribuciones enviadas a la revista *Interfases*, originales e inéditas, pasan por un proceso de evaluación en dos etapas. En la primera etapa, a cargo del Comité Editorial, se evalúa el contenido del artículo para determinar si se encuentra enmarcado en las líneas temáticas de la revista y si cumple con las pautas editoriales; si el artículo no es aprobado en esta primera etapa, se devuelve y/o comunica al autor(es) sobre la decisión adoptada. En la segunda etapa, el artículo aprobado en la etapa previa se envía a un especialista (evaluador) en el tema que desarrolla el artículo, interno o externo a la Carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad, bajo la modalidad de doble ciego; con esta modalidad se garantiza que el o los articulistas desconozcan la identidad del revisor, y viceversa.

El revisor evaluará el contenido del artículo y emitirá su conclusión, la cual puede referirse a uno de los siguientes casos posibles:

1. El artículo se publica sin ningún cambio o con cambios mínimos que no requieren de una segunda evaluación.
2. El artículo se publica con cambios sustanciales, de acuerdo a las observaciones que se emitan luego de su revisión, y cuyo levantamiento de observaciones requiere ser aprobado en una segunda evaluación.
3. El artículo no se publica.

El Comité Editorial tendrá un plazo de 20 días hábiles para presentar su informe y, de ser el caso, con las observaciones realizadas al artículo; el mencionado informe será enviado al o los articulistas para el levantamiento de las observaciones correspondientes si así se requiere. El articulista tendrá un plazo de 15 días hábiles para remitir su artículo al Comité Editorial con las modificaciones solicitadas, para ser reenviado al evaluador, quien dispondrá de un plazo de 10 días hábiles para emitir su conformidad al Comité Editorial, y se procederá a su publicación en la revista, previa confirmación al autor.

Cualquier objeción que pueda realizar el articulista en relación a las observaciones hechas por el evaluador será resuelta por el Comité Editorial en última instancia.

Política de acceso abierto

Esta revista proporciona un acceso abierto a su contenido, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global del conocimiento.

DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

Características de las publicaciones

El Comité Editorial de la revista *Interfases* indica que los artículos que se presenten para su publicación deben tener la siguiente estructura:

1. Título principal, escrito en inglés y español, en el cual se debe indicar claramente la materia del artículo. Debe ser breve e incluir las principales palabras clave que definan el contenido del artículo.
2. Resumen de no más de doscientas cincuenta palabras. Debe informar sobre el objetivo, la metodología y los resultados del trabajo descrito. Debe incluir también su traducción al idioma inglés, encabezada por la palabra *Abstract*, así como la traducción al inglés de las palabras clave (*Keywords*)
3. Introducción, que deberá orientar al lector respecto del problema presentado e incluir la naturaleza de este, los antecedentes o trabajos previos y el propósito o relevancia del artículo.
4. Cuerpo, que contendrá en detalle la información fundamental del artículo. Deberá, asimismo, considerar el objeto de la información, la que será entregada en forma clara y precisa.
5. Conclusiones, que deberán cubrir lo que se demuestra en el trabajo o se concluye de los temas en divulgación; su relevancia, ventajas y limitaciones, y la aplicación de los resultados.
6. Las citas y las referencias deberán indicarse de acuerdo a las normas APA. Según la norma señalada, las referencias, enlistadas al final de la publicación, se realizarán de la siguiente forma:

a) *Libros:*

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de la publicación). *Título del libro* (en cursiva), (número de la edición). Lugar de publicación: Nombre de la editorial.

b) *Artículos de revistas o capítulos de un libro:*

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de publicación). Título del artículo o el capítulo. *Nombre de la revista o el libro* (en cursiva), *número de la revista* (en cursiva), páginas en las que se encuentra el artículo o el capítulo.

c) *Libros electrónicos:*

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de publicación). *Título del texto electrónico* (en cursiva). Recuperado de <http://...> (dirección web).

d) *Artículos de revistas electrónicas:*

Apellido del (los) autor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año de publicación). *Título del artículo*. *Nombre de la revista* (en cursiva), páginas en las que se encuentra el artículo. Recuperado de <http://...> (dirección web).

e) *Ponencias en congresos o simposios:*

Apellido del (los) expositor(es), letra inicial del nombre del (los) autor(es). (Año, X [indicar día] de XXX [indicar mes]). *Título de la ponencia* (en cursiva). Conferencia presentada en el XXXXXX [nombre del evento]. Recuperado de <http://...> (dirección web).

Lista preliminar para la preparación de envíos

Los artículos deberán estar en formato Microsoft Word y enviarse por medio electrónico (correo electrónico, medio de almacenamiento óptico o magnético), de acuerdo con las instrucciones presentadas.

Los artículos tendrán una extensión de entre diez y veinte páginas, y deberán respetar el siguiente formato:

- a) Página A4.
- b) Título del artículo, centrado en negrita, con letra Times New Roman de doce puntos.
- c) Títulos del texto, centrados en negrita, con letra Times New Roman de doce puntos, dejando dos líneas en blanco antes del párrafo.
- d) Texto del cuerpo con letra Times New Roman de doce puntos, con espacio y medio de interlineado.

Declaración de privacidad

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.

ÍNDICE

Presentación	9
ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	
Técnicas de inteligencia artificial para optimizar la eficiencia del procedimiento de selección para la contratación de obras públicas	
Reiner Solís Villanueva	13
Dimensionamiento de flota en las operaciones de carguío y transporte usando modelos de simulación de sistemas	
Osmar Lins de Noronha, Alcides Eloy Cano Nuñez, Adeline F. dos Reis, Carlos Enrique Arroyo Ortiz	43
Automatización de requisitos: historias de usuario generadas a partir de un modelo orientado a objetivos basado en el <i>framework</i> i*	
Delicia Esmeralda Lucero Guevara, Nora Bertha La Serna Palomino	57
Designing uncomplicated software	
Michael Dorin, Sergio Montenegro	73
Beneficios de la implementación de un sistema de telemetría para la gestión de las operaciones mineras	
Walter Schmidt Felsch Junior, Carlos Enrique Arroyo Ortiz, Valdeis de Souza Oliveira, Pablo Rodrigo Vieira da Cunha, Éder Flávio de Araújo Costa	87
Evaluación experimental de un modelo de programación lineal para el problema de ruteo de vehículos (VRP)	
Juan Manuel Machuca de Pina, Michael Dorin, Alicia Isabel García Yi	103

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Revisión de la capacidad de transparencia y confianza que ofrece
la tecnología *blockchain*

Manuela Linares Barbero

119

Urban logistics and spatial territorial intelligence indicators: State-of-the-art,
typology and implications for Latin American cities

Jesús González-Feliu

135

Perfiles

177

PRESENTACIÓN



Dr. Julio Alejandro Padilla Solís
Director de la revista *Interfases*

Con mucha satisfacción presentamos a la comunidad académica y empresarial una nueva edición de la revista *Interfases*, en un contexto en el que la innovación tecnológica está generando cambios a gran velocidad en las organizaciones y las posibilidades de impulsar la transformación digital despiertan un gran interés.

Como respuesta a la demanda de conocimiento sobre tecnologías emergentes, tendencias de la innovación y sus posibilidades actuales, se han seleccionado contribuciones de investigadores cuyos artículos reflejan importantes avances en las siguientes áreas: ingeniería de *software*, tecnologías de información, ingeniería de sistemas y ciencias de la computación.

La sección de artículos de investigación inicia con el aporte de Reiner Solís, quien nos entrega una propuesta para innovar en los procesos de contratación de obras públicas, dejando atrás la gestión centrada en procedimientos legales y burocráticos, para obtener mejores resultados asignándole un rol a la tecnología: el de generar entornos inteligentes. Para concretar esta visión, el autor desarrolla una arquitectura genérica que actúa en forma autónoma en los procedimientos de selección de contratación de obras públicas, produciendo un criterio de decisión automática en caso de empate mediante la aplicación de técnicas de inteligencia artificial: sistema de aleatoriedad controlada de encriptación-transformación y redes neuronales artificiales.

Osmar Lins de Noronha, Alcides Cano, Carlos Arroyo y Adeline F. dos Reis, desde Brasil, abordan exhaustivamente los aspectos que deben ser considerados en el dimensionamiento de equipamiento de carguío y transporte de material en una mina a cielo abierto localizada en el centro oeste de Brasil. Los investigadores trabajaron con modelos de simulación de sistemas basados en las actividades y ciclos de los equipos de la mina. Posteriormente

confrontan los resultados del análisis estocástico y determinístico para tomar decisiones sobre cómo incrementar las utilidades de la empresa, comprobándose que el modelo estocástico representó mejor el problema real.

En el campo de la ingeniería de *software* y las metodologías ágiles, se publican en este número dos investigaciones. La primera de ellas está referida a la implementación de una herramienta para la generación automatizada de historias de usuario a partir de un modelo gráfico, una interesante propuesta presentada por Delicia Lucero y Nora La Serna. Las autoras aplican el enfoque de modelado orientado a objetivos, el cual utiliza la notación i^* . Una vez recopilados los requerimientos a través de este modelo, se generan las historias de usuario de manera automática, para la posterior trazabilidad de los requisitos y se comprueba que no existen ambigüedades en ninguna de las dos perspectivas: la gráfica y la narrativa. La segunda investigación referida a la ingeniería de *software* es un aporte de Michael Dorin, desde Estados Unidos, y Walter Montenegro, desde Alemania, quienes bajo el título “Designing uncomplicated software” sostienen que aunque el manifiesto ágil prescribe disminuir el foco en las herramientas y procesos para centrarlo en las interacciones humanas, esto no implica que se abandonen los procedimientos y el proceso de diseño. Los autores afirman que el diseño de *software* no tiene por qué ser extremadamente arduo y que el flujo de trabajo puede aliviarse con una adaptación denominada “diseño conducido por la responsabilidad” (*responsibility-driven design*). Esta adaptación asigna personalidades a los componentes internos del *software* para humanizar la tarea de diseñar.

Walter Schmidt, Carlos Arroyo, Valdeis de Souza Oliveira y Pablo Viera da Cunha, desde Brasil, presentan los beneficios de la implementación de un sistema de telemetría para la gestión de las operaciones mineras, en la que los datos son transmitidos por una red remota, posibilitando monitorear, medir y controlar los equipos. El sistema de telemetría, que contó con sensores de tecnología embarcada en los camiones Caterpillar, identifica el incidente en tiempo real y le asigna los medios más eficientes para su resolución. Las mejoras que se apreciaron fueron: una mejor gestión en el suministro de combustible, aumento de la productividad de la flota y también incremento de la vida útil de los componentes de mantenimiento.

Completando la sección de artículos de investigación, Juan Machuca, Michael Dorin y Alicia García presentan la evaluación experimental de un modelo de programación lineal para el problema de ruteo de vehículos (VRP). La investigación se sustenta en la teoría de complejidad computacional para estimar si un modelo matemático de optimización puede completarse en un período de tiempo razonable. Los investigadores establecen que los tiempos en escenarios dispersos (toda la ciudad) son menores que en escenarios concentrados (carretera), por lo que el modelo es recomendable para empresas de reparto con un rango de 40 a 50 puntos de entrega.

La sección de artículos de revisión de este número toca áreas de investigación ligadas a las tecnologías emergentes como *blockchain* y *smart cities*, que con seguridad originarán una gran actividad de investigación en los próximos años. Manuela Linares contribuye en esta edición con una revisión de la capacidad de transparencia y confianza de *blockchain*. Las transacciones transparentes se han convertido en un reto para las organizaciones que participan por ejemplo de una cadena de suministro o cualquier otro esquema de negocios corporativos. La tecnología *blockchain* provee transparencia e integridad de la información bajo un esquema de *smart contracts*, aun si las organizaciones participantes no se conocen entre ellas previamente. En esta misma sección, Jesús González-Feliu, desde Francia, presenta un artículo sobre el estado del arte de los indicadores de accesibilidad y de atraktividad espacial para el transporte de carga y la logística urbana, desde el punto de vista de la inteligencia y la analítica territorial. El artículo propone una primera tipología de indicadores y analiza el potencial de su uso en la planeación y desarrollo urbano en Latinoamérica.

Expresamos nuestra gratitud a todos los investigadores, locales y extranjeros, que nos hicieron llegar sus artículos, y a los revisores, tanto internos como externos, cuyas valiosas apreciaciones fueron consideradas para la mejora en forma y contenido de esta edición.

Dejamos a disposición de nuestros lectores los interesantes artículos que conforman el presente número y nos despedimos hasta nuestra próxima edición, la cual será especial ya que llegaremos a las primeras 12 ediciones, con renovado entusiasmo y altas expectativas sobre el futuro de nuestra revista en la comunidad académica y empresarial.

TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA DEL PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN PARA LA CONTRATACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS*

Reiner Solís Villanueva

rsolis@ulima.edu.pe

Universidad de Lima. Lima, Perú

Resumen

El presente artículo propone el diseño de un modelo que proporciona una arquitectura genérica que actúa en forma autónoma en los procedimientos de selección en la contratación de obras públicas, generando un criterio de decisión automática en caso de empate. Para el procedimiento de selección Adjudicación Simplificada, en caso de empate, se propone la elección del postor mediante un sorteo electrónico basado en un sistema de aleatoriedad controlada de encriptación y transformación. Para el procedimiento de selección Licitación Pública, en caso de empate se propone la elección del postor mediante un índice de cumplimiento pronosticado de acuerdo con el comportamiento de las empresas en la ejecución de proyectos de infraestructura similares. Con este fin se genera un modelo que realiza la predicción de la probabilidad de éxito o fracaso del postor de ejecutar el proyecto antes de iniciarlo, usando redes neuronales artificiales como herramienta de análisis. En el presente documento se revisan las características comunes de las redes neuronales artificiales.

Palabras clave: redes neuronales artificiales, toma de decisiones, riesgo

Abstract

Artificial intelligence techniques for optimizing the efficiency in public works contracting selection processes

The present article proposes to design a model that provides a generic architecture which acts autonomously in public works contracting selection processes, in order to generate an automated decision criterion in the event of a tie. For the Simplified Tender selection process, in case of a tie, it is proposed to choose the bidder by means of an electronic lottery based on a controlled randomization system of encryption and transformation. For the Public Bidding selection process, in the event of a tie, the bidder is chosen by means of a predicted compliance index according to the behavior of the companies when executing similar infrastructure projects. To this end, a model that predicts the probability of success or failure of the bidder to execute a project before initiating it is generated, using artificial neural networks as an analysis tool. This paper reviews the common characteristics of artificial neural networks.

Keywords: artificial neural networks, decision-making, risk

* Este artículo deriva del proyecto de investigación "Modelo de gestión de las compras públicas en proyectos de infraestructura, basado en técnicas de inteligencia artificial para optimizar la eficiencia del sistema de contrataciones de obras en el Estado Peruano", del Instituto de Investigación Científica de la Universidad de Lima.

1. Introducción

La visión actual de impulsar procesos innovadores en las compras públicas es un nuevo enfoque que supone alinearse con la tendencia mundial de las contrataciones públicas, dejando atrás la gestión centrada en procedimientos legalistas y burocráticos, para concentrarse en la obtención de resultados y en asignar como rol de la tecnología el de generar entornos inteligentes. Mediante las técnicas de inteligencia artificial y en un marco legal adecuado es posible contribuir con la gestión de las instituciones públicas en el cumplimiento de sus objetivos, procurando un servicio oportuno y transparente.

El presente artículo contribuye a esta visión y propone una arquitectura genérica que actúe en forma autónoma en los procedimientos de selección de contratación de obras públicas, generando un criterio de decisión automática en caso de empate, en los procedimientos de selección Adjudicación Simplificada y Licitación Pública, aplicados para la contratación de obras públicas. Asimismo, se propone la integración de información para el procedimiento de selección mediante una base de datos centralizada para facilitar el registro y selección de tal forma que el procedimiento de selección de empresas se haga de manera automática. Para los procesos de Adjudicación Simplificada, se propone la elección del postor mediante un sorteo electrónico basado en un sistema de aleatoriedad controlada basada en el método aleatorio SHA512 de encriptación y la transformación del *hash*. Para el procedimiento de selección bajo la modalidad de Licitación Pública, en caso de empate, se propone la elección del postor mediante un índice de eficiencia pronosticado por un sistema de acuerdo con el comportamiento de las empresas en la ejecución de proyectos de infraestructura similares, donde se genera un modelo que realiza la predicción de la probabilidad de éxito o fracaso del postor de ejecutar el proyecto antes de iniciarlo. Esto supone el pronóstico del índice de eficiencia de cada uno de los postores que participan en el proceso de selección del proyecto, el cual servirá para realizar un desempate en caso de que algunos postores igualen en el puntaje final. También implica pronosticar el índice de eficiencia del postor ganador de la buena pro respecto a su probabilidad de éxito o fracaso en el proyecto, realizando un replanteo de estas probabilidades, comparando los datos históricos con el comportamiento del postor respecto de los riesgos identificados en el proceso de negocio. Para tal fin se usan las redes neuronales artificiales como herramienta de análisis. En el presente documento se revisan las características comunes de las redes neuronales artificiales.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Selección aleatoria y verificación con el método de encriptación SHA256

El algoritmo propuesto es una variante del Provably Fair, implementado y explicado por bitzino.com, en forma de un sistema para poder procesar una bajada de cartas de manera transparente. Es un modelo del cual se diversifican muchas variantes que actualmente se

usan en casinos virtuales, en especial los que usan criptomonedas como dinero (Bitcoin, Litecoin, LottoCoin, DogeCoin, Matonis, 2012). En el *white paper* publicado en el *techblog* de Bitzino se explica el algoritmo que usan en el casino. Si bien no fue el primer uso de un algoritmo de esta naturaleza, fueron pioneros en presentar la elaboración del sistema de forma transparente. Este algoritmo Provably Fair se basa en la participación tanto del cliente como del servidor para generar una cadena encriptada única y representativa del resultado, la cual el cliente podría ver antes de confirmar su participación en el sistema. De esta forma, el cliente podría verificar el resultado obtenido y los parámetros que ingresó con la cadena que recibió. Así podría saber desde el principio que los datos no fueron manipulados y que por lo tanto fue un proceso 100 % justo. Por la naturaleza de las apuestas, los casinos que optan por usar este sistema agregan una cadena especial secreta que solo es revelada luego de la confirmación del usuario en el sistema, ya que un tercero podría intentar hacer una ingeniería en reversa del proceso y evaluar la apuesta.

La variación que se propone en este documento no considera necesario el empleo de una cadena secreta. Los datos que se usarán en la evaluación de desempate de los postores solo se modifican con la participación de estos. Por eso es posible presentar toda la información de la evaluación automática en todo momento y ser 100 % transparentes con los usuarios.

El método de encriptación propuesto es el SHA256, que genera cadenas de 256 bits, las cuales permiten que las colisiones entre evaluaciones sean virtualmente imposibles (la probabilidad de colisión es de $1/(2^{256})$). La encriptación SHA256 pertenece al algoritmo de encriptación SHA 2. Es un algoritmo de encriptación para la verificación de datos y es destructivo, lo que significa que no se puede reconstruir la data a partir del *hash outcome* del SHA 2 (no se puede reconstruir, pero sí se puede identificar). En el algoritmo el mensaje se divide en segmentos de tamaño constante y cada segmento se somete a una serie de operaciones lógicas cuyos resultados se concatenan y forman el *hash* verificador. Este algoritmo de encriptación fue patentado por la NSA de Estados Unidos y tiene una declaración de licencia libre de derechos (consultar los enlaces [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=6829355&KC=&FT=E&locale=en_EP] y [<https://datatracker.ietf.org/ipr/858/>]).

$$\begin{aligned} \text{Ch}(X, Y, Z) &= (X \wedge Y) \oplus (X' \wedge Z), \\ \text{Ma}(X, Y, Z) &= (X \wedge Y) \oplus (X \wedge Z) \oplus (Y \wedge Z), \\ \Sigma_0(X) &= \text{RotR}(X,2) \oplus \text{RotR}(X,13) \oplus \text{RotR}(X,22), \\ \Sigma_1(X) &= \text{RotR}(X,6) \oplus \text{RotR}(X,11) \oplus \text{RotR}(X,25), \\ \sigma_0(X) &= \text{RotR}(X,7) \oplus \text{RotR}(X,18) \oplus \text{ShR}(X,3), \\ \sigma_1(X) &= \text{RotR}(X,17) \oplus \text{RotR}(X,19) \oplus \text{ShR}(X,10) \\ \wedge &== \text{AND} \\ \oplus &== \text{XOR} \\ \vee &== \text{OR} \end{aligned}$$

RotR == Desplazamiento circular de bits a la derecha

ShR == Desplazamiento de bits a la derecha

' == Complemento

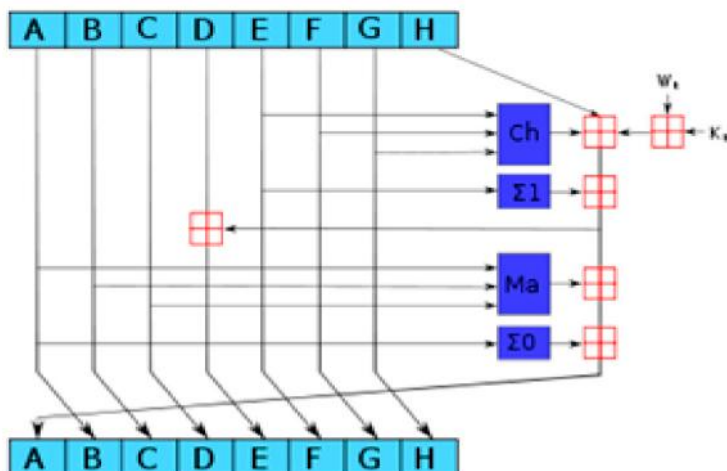


Figura 1. Algoritmo

Elaboración propia

Este se aplica en 64 segmentos de 32 bits pertenecientes a la cadena a encriptar y luego se vuelven a juntar los segmentos una vez encriptados para formar el *hash* representativo de esta.

Esta es una encriptación destructiva representativa por lo que no se toman absolutamente todos los segmentos de entrada, sino que se seleccionan los primeros 16 y el resto se une sumándolo con el siguiente patrón (donde W_i es el segmento i):

$$W_i = \sigma_1(W_{i-2}) + W_{i-7} + \sigma_0(W_{i-15}) + W_{i-16}, 17 \leq i \leq 64.$$

Luego de la separación en segmentos se aplica el algoritmo en 64 rondas para luego ser concatenados de vuelta y formar el *hash* representativo.

SHA256: (<http://www-ma2.upc.es/~cripto/Q2-06-07/SHA256english.pdf>) es un método de encriptación estandarizado del que existen implementaciones en muchos lenguajes de programación, por lo que no es necesario volver a programar el algoritmo. No es posible descryptar la información sin que se pierda; sin embargo, es 100 % confiable para la verificación de datos. Requiere una computación mediana, por lo que se debe aumentar el requerimiento de recursos para una implementación a gran escala.

2.2 Redes neuronales artificiales

Las redes neuronales artificiales forman parte de un conjunto de metodologías que se usan como soporte de trabajo de las organizaciones inteligentes y que actualmente tienen la denominación de “análisis avanzado”. Las redes neuronales artificiales no son programadas, aprenden a partir de ejemplos. Normalmente, a una red neuronal artificial le presentamos una serie de patrones ejemplos a través de los cuales ella debe aprender. Debido a que el aprendizaje es por ejemplos, las redes neuronales artificiales tienen un gran potencial para crear sistemas de computación que no necesitan ser programados. Esto supone un enfoque radicalmente distinto a los clásicos sistemas de *software* de desarrollo. En los programas de cómputo, cada paso que el computador ejecuta debe ser previamente especificado por el programador, considerando que cada paso del proceso absorbe tiempo y recursos. Las redes neuronales comienzan con ejemplos de entradas y salidas y aprenden a producir la salida correcta para cada entrada. El enfoque de las redes neuronales consiste en que no se requiere identificación de características ni el desarrollo de algoritmos y programas para la resolución de problemas particulares. Sin embargo presenta dos desventajas: el tiempo de aprendizaje de la red no puede ser conocido *a priori*, y el diseño de una red por prueba y error puede ser muy complejo. Esto quiere decir que mientras la red no haya concluido su proceso de aprendizaje no puede ser descartada (Isasi y Galván, 2004).

Actualmente existen variados modelos de redes neuronales artificiales que son usados en diversos campos de aplicación, destacando el modelo de Michie, Spiegelhalter y Taylor (1994) que es considerado el estudio comparativo más completo entre redes neuronales artificiales y modelos estadísticos. orientado a la clasificación (Sarle, 2002); el modelo de la red de propagación hacia atrás (Rumelhart, Hinton y Williams, 1986) y los mapas autoorganizados de Kohonen (1982). Estas estructuras pueden ser utilizadas en la clasificación y predicción del comportamiento de sistemas no lineales con información borrosa o incompleta, como es el caso del proceso de toma de decisiones.

3. Definición del problema de investigación

Uno de los problemas principales que enfrenta el Estado en las compras públicas, en lo que respecta a la contratación del proveedor para la ejecución de una obra de infraestructura pública, es tener un sistema de selección de proveedor eficiente (buena pro) que garantice la transparencia, disminuya la dilación del proceso por la interposición de recursos de apelación, permita un aumento de la cantidad de proveedores y acierte en la selección del mejor postor a fin de evitar riesgos futuros durante la ejecución de la obra.

La ley de contrataciones del Estado peruano y su reglamento (Ley 30225 y su última modificatoria aprobada por decreto legislativo 1341, Ley 29873, y la modificatoria del reglamento aprobada por decreto supremo 056-2017-EF, que entró en vigencia el 3 de abril del 2017), en sus artículos 32

a 69, establece la estructura, disposiciones generales, bases y procedimientos de los procesos de selección. Los artículos 32, 49, 57 y 66 del Reglamento de Contrataciones del Estado expresan los procesos de selección y sus procedimientos aplicables a la ejecución de obras públicas, como son la Adjudicación Selectiva y Licitación Pública. Una referencia respecto a los montos aplicables a los procesos de selección descritos en obras públicas se observa en la figura 2.

PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN	BIENES	SERVICIOS			OBRAS
		SERVICIOS EN GENERAL	CONSULTORÍA EN GENERAL	CONSULTORÍA DE OBRAS	
LICITACIÓN PÚBLICA	>= S/. 400 000				>= S/. 1 800 000
CONCURSO PÚBLICO			>= S/. 400 000		
ADJUDICACIÓN SIMPLIFICADA	< S/. 400 000 > S/. 33 200		< S/. 400 000 > S/. 33 200		
SELECCIÓN DE CONSULTORES INDIVIDUALES			< = S/. 40 000 > S/. 33 200		
SUBASTA INVERSA ELECTRÓNICA	> S/. 33 200	> S/. 33 200			
COMPARACIÓN DE PRECIOS	< = S/. 62 250 > S/. 33 200	< = S/. 62 250 > S/. 33 200			

Fuente:
 Artículo 16 de la Ley N° 30693, Ley de Presupuesto de Sector Público para el año fiscal 2018.
 Artículos del 22 al 25 de la Ley N° 30225, Ley de Contrataciones del Estado.
 Literal a) del artículo 5 de la Ley de Contrataciones del Estado.
 Decreto Supremo N° 380-2017-EF que aprueba el valor de la UIT durante el año 2018.

Figura 2. Montos establecidos por proceso de selección

Fuente: Organismo Supervisor de las Contrataciones OSCE. Montos para los procedimientos de Selección. Año Fiscal 2018.

Si bien el Reglamento de Contrataciones del Estado establece en sus artículos 32 a 69 una normalización para la determinación del tipo de proceso, las etapas del proceso, los requisitos de calificación y los factores de evaluación del proceso, debe tenerse en cuenta que algunos parámetros de los requisitos de calificación, como equipamiento estratégico, formación académica, experiencia del postor en obras similares y generales, están sujetos al criterio técnico del área usuaria de cada entidad estatal, el cual debe procurar no requerir características, años de antigüedad y demás condiciones que no se hayan previsto en el expediente técnico o que constituyan exigencias desproporcionadas, irrazonables o innecesarias.

Ahora bien, el artículo 54.6 del Reglamento de la Ley de Contrataciones del Estado (RLCE) establece que en el supuesto de que dos o más ofertas obtengan el mismo puntaje, obtiene el mejor orden de prelación aquella oferta más cercana por debajo del promedio. En caso de empate en puntaje y en oferta económica, el orden de prelación se determina por sorteo. El artículo 54.7

del RLCE indica asimismo que para la aplicación del sorteo se requiere la participación de notario o juez de paz y la citación oportuna a los postores que hayan empatado.

Respecto al procedimiento de selección de adjudicación simplificada, el artículo 69 del RLCE establece que en caso de empate, tratándose de obras, en el supuesto de que dos o más ofertas empaten, la determinación del orden de prelación de las ofertas empatadas se efectúa siguiendo estrictamente el siguiente orden: a) las microempresas y pequeñas empresas integradas por personas con discapacidad o los consorcios conformados en su totalidad por estas empresas, siempre que acrediten tener tales condiciones de acuerdo con la normativa de la materia; b) las microempresas y pequeñas empresas o los consorcios conformados en su totalidad por estas, siempre que acrediten tener tal condición de acuerdo con la normativa de la materia, o c) a través de sorteo. Para la aplicación del último criterio de desempate se requiere la citación oportuna a los postores que hayan empatado.

Observamos pues que la aplicación del sorteo como medio de desempate no asegura la elección del postor más idóneo para la ejecución de la prestación y, de otro lado, la realización del sorteo no contiene un procedimiento específico que asegure su transparencia, toda vez que no expresa un procedimiento que pueda implementarse en un sistema autónomo, de manera que el proceso se realice en forma virtual y verificable sin requerir la presencia de las partes.

En los procesos de selección de envergadura, como las licitaciones públicas de obra (procesos con un valor referencial mayor a 1 800 000,00 soles) existe latente un alto riesgo al elegir al mejor postor ya que se requiere evitar incumplimientos durante la ejecución de las obras. Este riesgo es elevado aun en el caso de un empate, ya que el sorteo en acto público no asegura que la buena pro la obtenga el postor más conveniente para los intereses del Estado, siendo incierto el porcentaje de éxito de la ejecución del proyecto a futuro. A esto se suma la dificultad de que la legislación actual no está adecuada para que este tipo de proceso pueda realizarse en forma automática, donde la buena pro se otorgue mediante un proceso virtual en el que las variables hayan sido reducidas a factores de diferenciación normalizados para otorgarla.

Es conveniente tener en cuenta que el riesgo es la probabilidad de tener éxito o fracaso, cuando se toma la decisión de llevar a cabo un proyecto (Del Carpio y Eyzaguirre, 2007). Se hace necesario realizar una evaluación del riesgo que asume una entidad del Estado cuando califica a los postores que concursan por adjudicarse la buena pro de un proceso, en términos de la probabilidad de haber elegido al mejor postor, es decir, aquel con mayor probabilidad de cumplimiento (éxito) en la ejecución del proyecto convocado. De este modo se pueden tomar las decisiones más adecuadas para salvaguardar los intereses del Estado.

El problema principal que enfrenta una entidad del Estado es poder calcular con el mínimo error posible cuál de los postores —empresas contratistas— que concursan por la buena pro tiene mayor probabilidad de tener éxito en la ejecución del proyecto convocado por la entidad, sobre

todo si se da el caso de empate, en el cual tiene que dilucidarse el otorgamiento de la buena pro mediante un sorteo. Asimismo, es conveniente tener presente la probabilidad de éxito que tiene la empresa contratista ganadora de la buena pro antes de iniciar el proyecto, a fin de que la entidad pueda tomar decisiones con los resultados obtenidos.

Es posible que la entidad realice un cálculo objetivo y estime la probabilidad de éxito de cada postor en la ejecución del proyecto al cual concursa, con base en una evaluación de variables mediante la comparación de valores umbrales con proyectos similares ejecutados, calificando el proyecto antes de ser iniciado como éxito o fracaso. No obstante, el problema que puede darse es que los valores umbrales de comparación se determinan en condiciones de alta incertidumbre, ya que el cálculo se basa en una media ponderada de la exposición al riesgo usando datos históricos de la empresa. Por otro lado, el problema que puede ocurrir es que la empresa adopte valores teóricos de comparación (por ejemplo, valores pertenecientes a otras organizaciones), a fin de predecir el éxito o fracaso de un proyecto. En ambos casos el proceso de estimación del riesgo se realiza con alta incertidumbre y no es confiable.

Para revertir la situación planteada, a continuación se enuncian las siguientes interrogantes:

¿Es posible que en el procedimiento de selección Adjudicación Simplificada se pueda generar un criterio de decisión automática en caso de empate y que pueda tramitarse enteramente en forma virtual?

¿Es posible que en el procedimiento de selección Licitación Pública, en caso de empate, pueda elegirse al postor mediante un índice de cumplimiento pronosticado de acuerdo con el comportamiento de la empresa en la ejecución de proyectos de infraestructura similares?

¿Es posible que en el procedimiento de selección Licitación Pública este índice de cumplimiento pronostique el grado de probabilidad de éxito o fracaso de la obra a ejecutar?

¿Es posible predecir de manera confiable la probabilidad de cumplimiento que tiene una empresa contratista en la ejecución de un proyecto de infraestructura antes de ser iniciado?

¿Es posible construir un modelo basado en técnicas de inteligencia artificial que pueda calcular la probabilidad de cumplimiento (éxito o fracaso) de una empresa en la ejecución de un proyecto de infraestructura convocado por una entidad del Estado?

4. Estrategia de solución

Se plantea el diseño de un modelo referido a proyectos de ejecución de obras públicas a fin de proporcionar una arquitectura genérica que actúe en forma autónoma en el procedimiento de selección Adjudicación Simplificada. Esto permitirá que al ser el trámite comple-

tamente virtual pueda generarse un criterio de decisión automática en caso de empate, en el que se propone la elección del postor mediante un sorteo electrónico en un sistema de aleatoriedad controlada basada en el método aleatorio SHA512 de encriptación y la transformación del *hash*. Para el procedimiento de selección Licitación Pública, en caso de empate, se propone la elección del postor mediante un índice de eficiencia pronosticado por un sistema, de acuerdo al comportamiento de la empresa en la ejecución de proyectos de infraestructura similares. En este caso se genera un modelo que realiza la predicción de la probabilidad de éxito o fracaso del postor al ejecutar el proyecto antes de iniciarlo. Este proceso supone pronosticar el índice de eficiencia de cada uno de los postores que participan en un procedimiento de selección Licitación Pública para la contratación de la obra, el cual puede servir para realizar un desempate en caso de que algunos postores igualen en el puntaje final. También requiere pronosticar el índice de eficiencia del postor ganador de la buena pro en relación a su probabilidad de éxito o fracaso en el proyecto, realizando un replanteo de dichas probabilidades, comparando los datos históricos con el comportamiento del postor respecto de los riesgos identificados en el proceso de negocio y usando para tal fin las redes neuronales artificiales como herramienta de análisis.

Se propone la integración de información para concursos públicos mediante base de datos centralizada para facilitar el registro y selección. Esta base de datos debe contener la información de las experiencias del personal profesional clave, formación académica, experiencia del postor en obras similares y generales. De esta forma el proceso de selección de empresas se hará de manera automática usando sistemas autónomos que operen con dicha base de datos. La figura 3 muestra un resumen de nuestra propuesta.

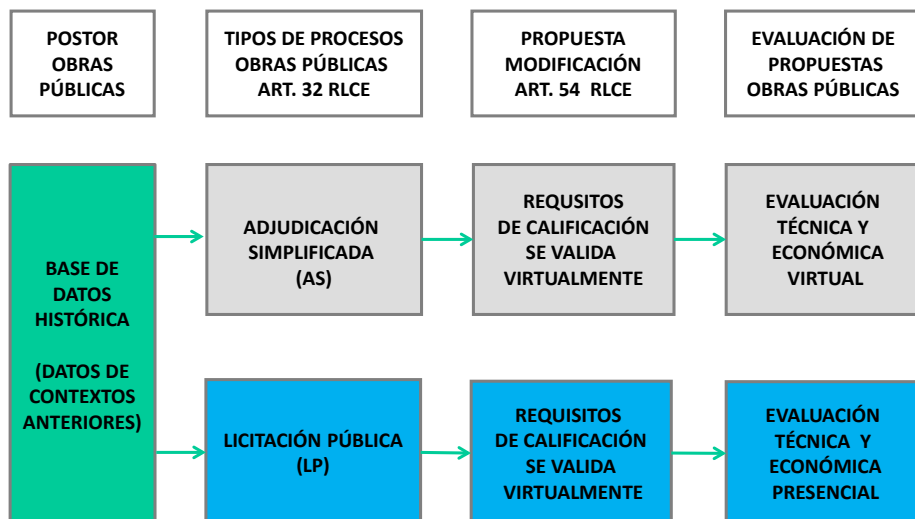


Figura 3. Propuesta respecto a validación virtual requisitos de calificación

Elaboración propia

5. Metodología de solución

5.1 Elección en caso de empate en el procedimiento de selección Adjudicación Simplificada

La figura 4 propone una validación de requerimientos técnicos mínimos, con una base de registro y selección que construirá la empresa, de modo que pueda ser información registrada en los campos de la base de datos. Para ello se plantea una modificación en el artículo 67 del RLCE en cuanto a la estandarización de los requisitos de calificación, como equipamiento estratégico, formación académica, experiencia del postor en obras similares y generales, que puedan exigir las entidades en el procedimiento de selección Adjudicación Simplificada. Se emplearán fichas técnicas de acuerdo a cada tipo de obra, de modo que se facilite el proceso de adjudicación de la buena pro en forma autónoma. La figura 4 muestra el proceso que se debe realizar en caso de empate.

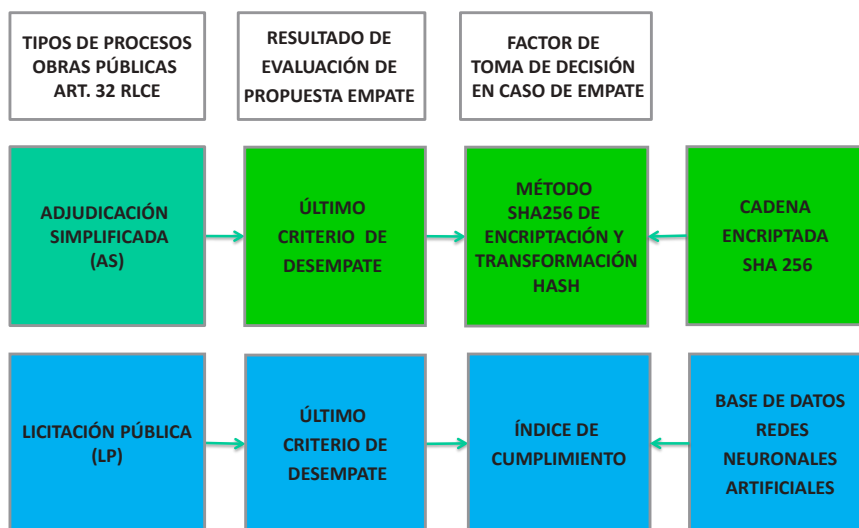


Figura 4. Proceso decisorio en caso de empate

Elaboración propia

Para el procedimiento de selección Adjudicación Simplificada, en caso de empate se propone la elección del postor mediante un sorteo electrónico mediante un sistema de aleatoriedad controlada basada en el método aleatorio SHA256 de encriptación y la transformación del *hash*.

Para seleccionar una empresa ganadora en caso de empate, se asigna una cadena de texto a cada postor con el siguiente formato:

Nombre del Proyecto + RUC Empresa + RUC Empresa 1 + RUC Empresa 2 + RUC Empresa 3 + + RUC Empresa X

Esta cadena asignada a cada postor luego es transformada con el método de encriptación SHA256 en una cadena de tamaño fijo única representativa de la cadena de entrada. La cadena encriptada resultante está en formato hexadecimal. Cada postor tiene asignada la cadena encriptada que le corresponde.

De la nueva cadena encriptada se escogen los ocho primeros caracteres y estos se transforman de hexadecimal a decimal, para ser divididos entre 42 949 672,95 que es $(2^{32} - 1)/100$ representativo al máximo valor decimal de ocho caracteres hexadecimales FFFFFFFF entre 100.

Ejemplo de aplicación y análisis técnico:

Proyecto: Parque Distrito X

RUC de la Empresa participante 1: 123456789

RUC de la Empresa participante 2: 321654987

RUC de la Empresa participante 3: 789456123

RUC de la Empresa participante 4: 123789456

En el caso de que empaten la empresa 1 y la empresa 3, cadena representativa de la empresa 1:

Parque Distrito X 123456789123456789321654987789456123123789456

Cadena representativa de la empresa 3:

Parque Distrito X 789456123123456789321654987789456123123789456

Después de pasar por la encriptación SHA256, cadena encriptada representativa de la empresa 1 en formato hexadecimal:

1A3B1F3203C61A1B01BB265288A86C768DA0CF9771582EE10947E823401EB06B

Cadena encriptada representativa de la empresa 3 en formato hexadecimal:

F7141523F6E076391A8FBE7DE505A3C2EF016DF9840198C4FAC93A2DFC095B30

Una vez aplicada la conversión a decimal y la división de los ocho primeros caracteres:

Empresa 1: $440\ 082\ 226 / 42\ 949\ 672,95 = 10,25$

Empresa 3: $4\ 145\ 288\ 483 / 42\ 949\ 672,95 = 96,52$

La empresa 3 es la ganadora del proceso de selección. La figura 5 muestra el procedimiento de conversión detallado.

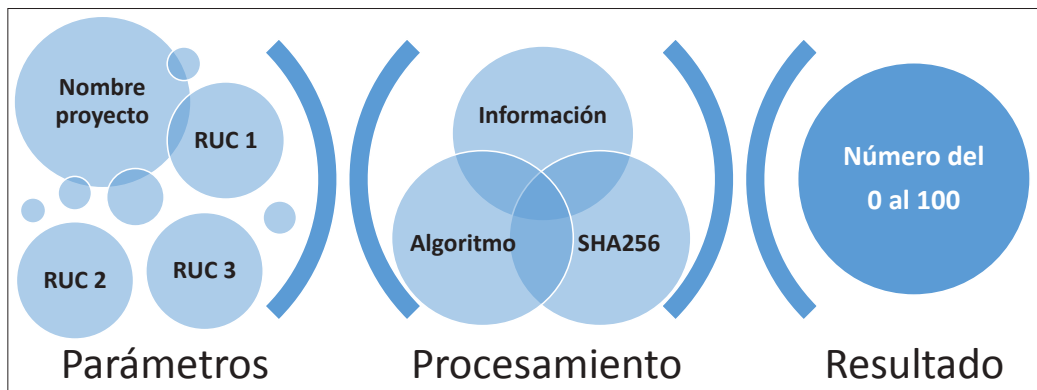


Figura 5. Proceso de encriptación

Fuente: Variante del Provably Fair implementada y explicada por bitzino.com

Al no tener el proceso de selección entradas modificables y al ser completamente automático, se puede dar a conocer el algoritmo para la obtención de resultados y este siempre devuelve el mismo resultado, siempre y cuando se introduzcan los mismos parámetros. De este modo, los postores pueden comprobar sus resultados con los parámetros que se utilizaron en la encriptación de la cadena incluso antes de que se realice el desempate en forma automática. Esta característica otorga transparencia al proceso. Para verificar el resultado lo que debe hacer el postor es evaluar sus parámetros con el algoritmo y comparar el resultado obtenido. Para esto la información del proyecto y los parámetros usados deben ser públicos. Los RUC de las empresas que participaron en el concurso del proyecto y el nombre del proyecto son la única información relevante para el algoritmo.

5.2 Elección en caso de empate en el procedimiento de selección Licitación Pública (ADP)

Un proceso más confiable, a diferencia del sorteo en caso de empate, es la selección del postor mediante un índice de cumplimiento pronosticado por un sistema, de acuerdo con el comportamiento de las empresas en la ejecución de proyectos de infraestructura similares. Nuestra propuesta consiste en establecer un modelo que utilice los datos históricos de proyectos similares ejecutados por la empresa, buscando identificar los factores de riesgo que afecten las variables de éxito del proyecto. El modelo propuesto usa como herramienta de análisis las redes neuronales artificiales para determinar los umbrales de comparación de éxito o fracaso de un proyecto antes de ser iniciado.

El modelo propuesto será construido con base en los datos históricos de proyectos similares ejecutados por cada empresa postora, usando como herramienta las redes neuronales artificiales y tendrá como salida o variable de evaluación estimada el indicador del objetivo del proyecto (efectividad, eficiencia y calidad). El cálculo del riesgo se hará en términos de la probabilidad de éxito o fracaso del proyecto antes de ser iniciado, a lo que llamaremos el índice de cumplimiento de cada postor. Esta medida estimada del riesgo debe definir las estrategias y planes de monitoreo o mitigación de riesgos que podría emplear la entidad con los resultados obtenidos respecto de los postores y eventualmente del postor ganador.

La evaluación del riesgo constituye la información primaria para el proceso decisorio, por lo tanto nos encontramos con el problema de averiguar en qué medida los riesgos pueden repercutir en los objetivos del proyecto. Por ejemplo, si los riesgos impactan demasiado sobre el proyecto, debemos obtener baja probabilidad de éxito. Sin embargo, para evaluar los resultados debemos tener en cuenta la base o umbral de comparación que arroja el modelo. Por ejemplo, supóngase como objetivo del proyecto medir la efectividad como índice de cumplimiento (resultados alcanzados sobre resultados planificados) a fin de definir el éxito o fracaso de un proyecto para luego compararlo con los índices de cumplimiento de proyectos similares de la empresa. Supongamos que para un proyecto se obtiene un índice de cumplimiento IC1 entre 0,7 y 0,8. Si se define un índice de cumplimiento teórico de éxito IC2 = 1,0 como umbral de comparación, entonces el proyecto es considerado como fracaso, porque $IC1 < IC2$. Por el contrario, si hemos elegido como umbral el valor que arroja el modelo basado en redes neuronales artificiales teniendo como dato la información de todos los proyectos similares ejecutados por la empresa (y esta fuera, IC3 = 0,65) tendríamos un éxito ($IC1 > IC3$). Esto último ocurre porque el objeto de comparación se basa en experiencias reales de la organización. Por lo tanto, debemos procurar calibrar el criterio de evaluación de los datos observados con base en las actuaciones reales de la empresa, procurando que la información sea suficiente y lo más actualizada posible, a fin de estimar un modelo óptimo que use la herramienta de las redes neuronales artificiales.

La estrategia que se propone está basada en el diseño de indicadores históricos comunes a los proyectos de una organización, que permitan construir una base de datos históricos del comportamiento de la empresa en la ejecución de proyectos similares, con el fin de calcular el impacto de los factores de riesgo sobre los objetivos del proyecto. El propósito de esta estrategia es generar una base de comparación del valor del riesgo.

Este documento propone definir los objetivos de un proyecto bajo un “esquema de cumplimiento” (Lezama, 2007). El esquema permite identificar los indicadores de cumplimiento relacionando elementos cuantificables para luego transformarlos en indicadores básicos. El esquema de cumplimiento está sostenido por tres indicadores

generales: Efectividad (IPE), Eficiencia (IPP) y Calidad (IPC); el promedio de estos tres indicadores nos dará el índice de cumplimiento (IC). Este punto de vista se utilizará en el resto de este documento.

Con el fin de comprobar si un proyecto está cumpliendo sus objetivos declarados, consideramos los umbrales de efectividad, eficiencia y calidad. De esta manera, el cumplimiento —éxito o fracaso del proyecto— se define según la forma en que se establecen estos umbrales. Esta interpretación nos permite definir un proyecto como exitoso sobre la base de un aspecto específico (por ejemplo, un proyecto puede considerarse exitoso si el factor de cumplimiento supera o iguala el umbral establecido por el modelo; en caso contrario el proyecto puede considerarse un fracaso). Sin embargo, este concepto puede ser representado por una función de muchas variables que calcula la métrica que hemos elegido para representar el éxito. Asimismo, usando la herramienta de redes neuronales artificiales, podemos calcular la probabilidad de cumplimiento (éxito) para el proyecto actual. Si esta probabilidad es inferior al umbral escogido, el impacto de los factores de riesgo aumenta y tiene que activarse un plan de contingencia para mitigarlo; en caso contrario, si esta probabilidad es superior al umbral definido, el impacto de los factores de riesgo disminuye y, por lo tanto, la influencia de los factores de riesgo sobre los objetivos del proyecto (esquema de cumplimiento) es mínima.

Los datos históricos basados en los factores de riesgo permitirán construir una función de regresión para la evaluación del riesgo ya que permiten generar como salida los umbrales de comparación de los objetivos del proyecto. Esta función es generada usando como herramienta las redes neuronales artificiales, cuyo resultado representa la métrica que hemos elegido para representar el éxito.

La figura 6 describe el impacto de los factores de riesgo sobre los objetivos del proyecto con base en los datos históricos de la organización. Sin embargo, debemos definir los indicadores adecuados que permitan medir si los objetivos de un proyecto (efectividad, eficiencia y calidad) son alcanzados mediante la comparación de umbrales a los que denotaremos como métricas de éxito o indicadores de cumplimiento. Asimismo, se deben definir los indicadores que miden los factores de riesgo y que impactan sobre los objetivos del proyecto, a los que denotaremos como indicadores de factores de riesgo.

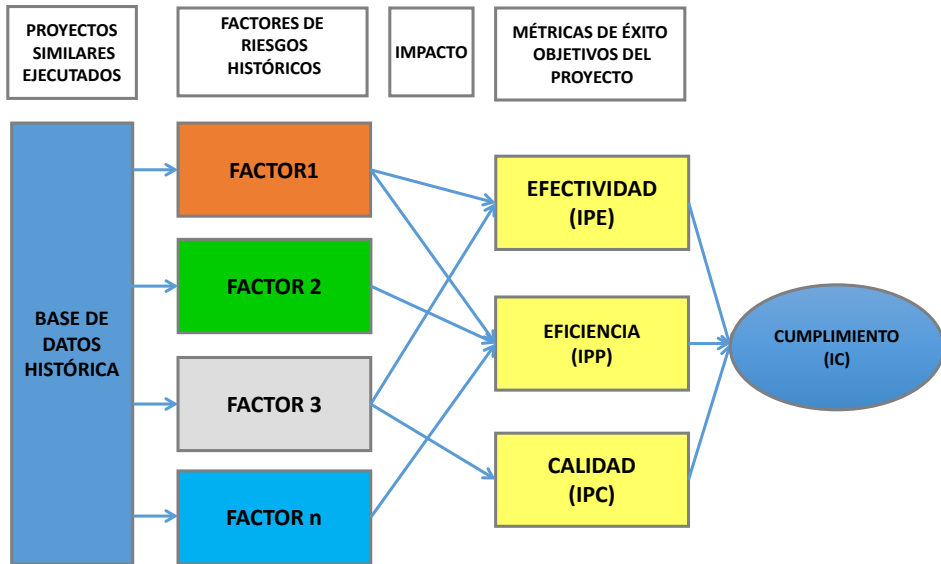


Figura 6. Base de datos histórica de proyectos similares ejecutados

Elaboración propia

5.3.1 Selección del proyecto

En este documento la metodología de solución propuesta identifica los indicadores adecuados que permitan calcular con el mínimo error posible la probabilidad de cumplimiento (éxito o fracaso) que tiene un postor en la ejecución del proyecto de infraestructura al cual postula, a fin de que la entidad estatal que licita el proyecto pueda usar este índice en caso de empate o tomar las decisiones que correspondan en resguardo de los intereses del Estado, ya sea confirmando las predicciones de éxito o fracaso del proyecto, o replanteándolas. Asimismo, los datos históricos basados en los factores de riesgo permiten generar como salida los umbrales de comparación de los objetivos del proyecto, usando como herramienta las redes neuronales artificiales, cuyo resultado representa la métrica que hemos elegido para representar el cumplimiento del proyecto (éxito).

Un ejemplo de empresas que ejecutan proyectos recurrentes son las empresas constructoras que llevan a cabo proyectos de infraestructura con el Estado, en los cuales podemos definir los indicadores de objetivos y los indicadores de los factores de riesgo, los cuales nos permitirán calcular con el mínimo error posible la probabilidad de cumplimiento (éxito o fracaso) que tiene el postor en la ejecución del proyecto que se licita, mediante la técnica de inteligencia artificial: redes neuronales artificiales.

A continuación se definen los indicadores de objetivos y los indicadores de factores de riesgo para el caso de una empresa constructora de obras de

infraestructura, tomando como referencia el modelo de gestión de indicadores de Salgueiro (2001).

5.3.2 Indicadores de objetivos

En el apartado 5.3 se definieron los objetivos de un proyecto bajo un “esquema de cumplimiento” (figura 6). El esquema permite identificar los indicadores que aseguren el cumplimiento de una empresa contratista en la ejecución de un proyecto de infraestructura que licita el Estado. El esquema de cumplimiento propuesto está sostenido por tres indicadores generales: efectividad, eficiencia y calidad.

A continuación identificamos los indicadores de cumplimiento de objetivos que son medidas de éxito o fracaso en relación a los objetivos de un proyecto, a los cuales denominaremos métricas de éxito del proyecto. Los indicadores son definidos para el caso de una empresa constructora de obras de infraestructura tomando como referencia el modelo de gestión de indicadores de Salgueiro (2001). Los indicadores objetivos de cumplimiento están sostenidos por los tres indicadores generales que ya se han mencionado: IPE, IPP e IPC; el promedio de estos tres indicadores nos dará el índice de cumplimiento IC.

Indicador de efectividad

Este indicador proporciona información cuantificable sobre el cumplimiento del objetivo planteado respecto a las penalidades contractuales aplicadas al ejecutor de obras, y representa un índice del cumplimiento de la prestación de ejecución de obra. Se propone el indicador denominado efectividad en la ejecución de la prestación sin penalidades (IPE). Lo definiremos como el grado de cumplimiento del plan de presupuesto de la prestación de ejecución de obra sin penalidades contractuales, por la variable IPE.

$$\frac{\text{PENALIDAD MÁXIMA-PENALIDADES APLICADAS}}{\text{PENALIDAD MÁXIMA}}$$

Indicadores de eficiencia

Representan la capacidad del proyecto de lograr su conclusión en el mínimo tiempo y con el menor costo unitario posible (Lezama, 2007). En este sentido se propone un indicador de eficiencia denominado relación del plazo de ejecución del proyecto (IPP), el cual indica la capacidad de concluir el proyecto en el mínimo tiempo posible.

$$\frac{\text{PLAZO PROGRAMADO DE EJECUCIÓN}}{\text{PLAZO REAL DE EJECUCIÓN}}$$

Indicadores de calidad

Representan la capacidad del proyecto para satisfacer al cliente y cuantifican la mejora continua de los procesos y resultados. El indicador de calidad propuesto es calidad del proceso (IPC), el cual mide precisamente la calidad del proceso (Apaza, 2003). Es una relación entre el avance de ejecución de obra aprobado por la entidad (metrado ejecutado conforme) y el avance de ejecución de obra realmente ejecutado (metrado ejecutado real).

$$\frac{\text{METRADO DE EJECUCIÓN CONFORME}}{\text{METRADO DE EJECUCIÓN REAL}}$$

5.3.3 Indicadores de los factores de riesgo

Durante la evaluación del riesgo y el diseño del proceso de toma de decisiones, debemos identificar los eventos que podrían impedir, degradar, demorar o mejorar el logro de los objetivos de la empresa. Estos eventos constituyen las fuentes externas o internas de riesgo en relación a los objetivos de la empresa, que en adelante denominaremos *factores de riesgo*.

Se debe tener especial cuidado al definir los factores de riesgo, procurando identificar factores característicos del negocio, de modo que estos no resulten teóricos, irreales o de medición complicada. Se debe lograr que los datos sean lo más exactos posible y que puedan ser obtenidos con facilidad. Se deben identificar los factores de riesgo que tienen impacto positivo o negativo en los objetivos de un proyecto de infraestructura.

Los factores de riesgo que afectan o impactan la medición de las métricas de éxito del proyecto deben ser expresados por indicadores a calcularse para todo proyecto de infraestructura. Estos indicadores son las entradas al modelo propuesto de la figura 6, que tiene como salida la métrica de éxito del proyecto y que será expresada en una función de regresión no lineal. El modelo requiere un gran número de indicadores de factores de riesgo, para obtener buenos resultados; sin embargo, si el número de indicadores crece, la métrica de éxito del proyecto será más difícil de estimar utilizando la estadística clásica.

Una solución a este problema es usar la herramienta de redes neuronales artificiales, en particular el modelo multicapa *feed-forward backpropagation*, para calcular los valores de las funciones de regresión, de modo que el número de factores considerados no influye sobre el procedimiento. Este documento toma

como referencia el modelo de validación de eficiencia adoptado por Cantone, Sarcía y Basili (2007), basado en el análisis de redes neuronales artificiales como un medio para estimar una función de regresión no lineal, incluso si el número de factores de riesgo es elevado.

Para identificar los factores de riesgo que afectan los objetivos del proyecto hemos tomado como referencia, entre otros, el modelo Goal Question Metric (Basili, Caldiera, Rombach, 1994).

Si bien este modelo fue creado para estimaciones en proyectos de *software*, el enfoque Goal Question Metric proporciona un método eficaz para identificar factores e indicadores tanto del proceso como de los resultados de proyectos de infraestructura, considerando que un programa de medición puede ser más satisfactorio si es diseñado teniendo en cuenta los objetivos perseguidos. En este enfoque las preguntas potencialmente medibles ayudan a establecer si se está alcanzando en forma exitosa la meta trazada. Algunas preguntas posibles son las siguientes: ¿Qué factores repercuten en el logro del objetivo del proyecto? ¿Cuál es el contexto del proyecto? ¿Cuál es el contexto de la organización?

La tabla 1 contiene nuestra propuesta de los factores de riesgo para proyectos de infraestructura y definición de indicadores del riesgo para medir el impacto sobre los objetivos (métricas de éxito) del proyecto. La escala de medición se elaboró con base en los datos provenientes de las experiencias de proyectos similares ejecutados (valores máximos y mínimos) por empresas ejecutoras de obras y de los valores límite permitidos por la legislación vigente.

Tabla 1. Factores de riesgo e indicadores de impacto

Factores riesgo	Indicador	Medición	Símbolo	Escala de medición
Precio ofertado del proyecto	Relación presupuesto ofertado y presupuesto base.	$\frac{\text{PRESUPUESTO OFERTADO}}{\text{PRESUPUESTO BASE}}$	RPP	[0,9 ; 1,10]
Gastos generales del proyecto	Relación gastos generales totales (fijos más variables) y costo directo de la obra (presupuesto contratado menos impuestos, gastos generales y utilidades)	$\frac{\text{GASTOS GENERALES}}{\text{COSTO DIRECTO DEL PROYECTO}}$	RGP	[0,0 ; 0,5]
Utilidad prevista del proyecto	Relación utilidad y costo directo de la obra (presupuesto contratado menos impuestos, gastos generales y utilidades)	$\frac{\text{UTILIDAD}}{\text{COSTO DIRECTO DEL PROYECTO}}$	RUP	[0,0 ; 1,0]

(continúa)

(continuación)

Tipo de proyecto	Tipo de proyecto: 1. Proyecto de edificación. 2. Proyecto de saneamiento. 3. Proyecto energético. 4. Proyecto de irrigación. 5. Proyecto de carreteras y puentes.	TIPO DE PROYECTO	TP	[1,2,3,4,5]
Duración del proyecto	Plazo de ejecución del proyecto.	DÍAS	PE	[0;1000]
Experiencia en obras	Experiencia del ingeniero residente de obras.	AÑOS	EIR	[1;40]
Experiencia en seguridad	Experiencia del ingeniero de seguridad.	AÑOS	EIS	[0;40]
Experiencia en calidad	Experiencia del ingeniero de calidad.	AÑOS	EIC	[0;40]
Experiencia en administración	Experiencia de la gerencia de administración	AÑOS	EGA	[1;40]
Variación de precios de materiales, equipos, mano de obra del sector construcción por inflación	Factor de reajuste K. Proviene de la fórmula polinómica del proyecto y es calculado con base en los índices de precios unificados del sector construcción publicados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).	FÓRMULA POLINÓMICA DEL PROYECTO	K	[0.5;2]

Elaboración propia

5.3.4 Modelo de predicción de la métrica de éxito

El modelo de predicción tiene como finalidad la estimación de la métrica de éxito del proyecto representado por una función de regresión no lineal. Para tal fin se utiliza una herramienta de redes neuronales artificiales. La métrica de éxito elegida es el índice de cumplimiento descrito en el apartado 5.3.2 y la estructura de la red neuronal artificial utilizada en el modelo es la de retropropagación conocida como red multicapa *feed forward* (Rumelhart, Hinton, Williams, 1986), donde las variables de entrada son los indicadores de los factores de riesgo del proyecto y la salida es la métrica de éxito del proyecto (estimación de función de regresión no lineal). Una descripción de este modelo se aprecia en la figura 6, donde el modelo de predicción calcula la métrica de éxito del proyecto, dando como resultado el valor del IC.

En síntesis, el modelo permite predecir el IC del postor participante del proyecto licitado por una entidad del Estado (proyecto nuevo). Asimismo, sirve para generar una base de datos donde estén clasificados los proyectos ejecutados por la empresa como éxito o fracaso. En particular, si el IC real para un proyecto es mayor que el IC estimado por el modelo de predicción (valor umbral estimado por la red neuronal) el proyecto se clasifica como un éxito (1); en caso contrario se clasifica como un

fracaso (0). Este dato se almacena en la base de datos con los indicadores de los factores de riesgo que le corresponden.

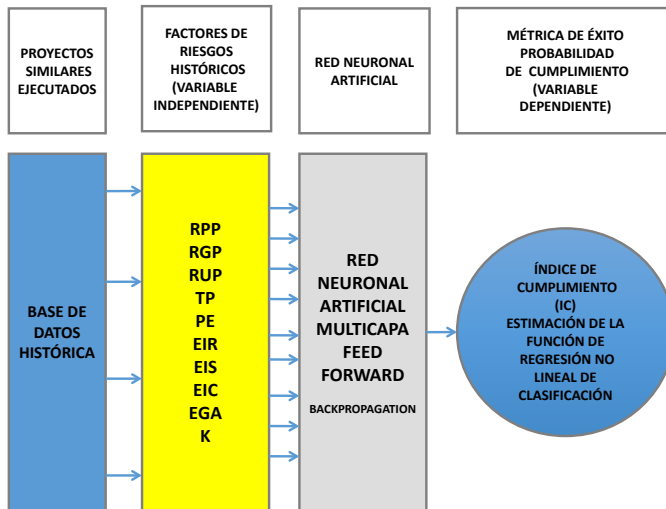


Figura 7. Modelo de predicción de la métrica de éxito

Elaboración propia

5.3.5 Modelo de predicción de éxito o fracaso

Una vez clasificados los proyectos ejecutados por la empresa como éxito (1) y fracaso (0), agrupados en forma conjunta con los indicadores de los factores de riesgo que determinan su clasificación, es posible construir un modelo que pueda predecir la probabilidad de cumplimiento (riesgo) de un nuevo proyecto, indicando su tendencia de cumplimiento (éxito o fracaso). Esta metodología implica el uso de una segunda red neuronal artificial *feed forward* donde las entradas son los indicadores de los factores de riesgo que afectan los objetivos del proyecto y la salida es un valor entre uno y cero que representa la probabilidad de cumplimiento (riesgo) de un nuevo proyecto. Para esto se establece un patrón de aceptación o rechazo (fijado en 0,5 o más) a fin de generar la probabilidad de cumplimiento del proyecto.

En este caso, si el valor de salida es de entre 0,5 y 1, se establece la tendencia de cumplimiento (éxito) del proyecto, y si el valor de salida es de entre 0 y menos de 0,5, se establece la tendencia al incumplimiento (fracaso) del proyecto. Una descripción de este modelo se aprecia en la figura 7.

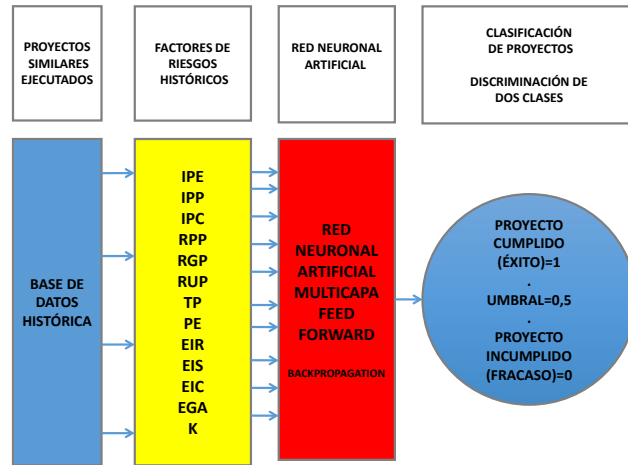


Figura 8. Predicción de la probabilidad de éxito o fracaso
Elaboración propia

6. Caso de estudio

6.1 Interfaz de evaluación para el desempate

La figura 9 muestra el procedimiento de conversión detallado.

Demo Concurso Publico Index Registro **Desempate**

Nombre del Proyecto

Empresas Participantes

Para el proposito de la demo, la empresa 1 y 3 empatan

RUC 1	<input type="text" value="123456789"/>	puntaje	<input type="text" value="99.5"/>
RUC 2	<input type="text" value="489846124"/>	puntaje	<input type="text" value="48.2"/>
RUC 3	<input type="text" value="483843424"/>	puntaje	<input type="text" value="99.5"/>
RUC 4	<input type="text" value="7378372114"/>	puntaje	<input type="text" value="70.1"/>

Proceso 100% transparente:

Cadena de la Empresa 1:
Parque San Isidro1234567891234567894898461244838434247378372114

Cadena de la Empresa 3:
Parque San Isidro4838434241234567894898461244838434247378372114

Valor encriptado de la Empresa 1 bajo SHA256:
c65ca37dc4b4be22e8aef4dac47e41ed16944cb7f95a4bc8d225aee3b2593be2

Valor encriptado de la Empresa 3 bajo SHA256:
1e2998728dbe1e63d93bbafdf54af06664b460aa3c5644d36d6cd4ae6637f070

Valor reducido de la Empresa 1: c65ca37d	Valor decimal de la Empresa 1: 3327959933
Valor reducido de la Empresa 3: 1e299872	Valor decimal de la Empresa 3: 506042482

El Resultado mayor de estos 2 es el ganador:

Valor 0-100 de la Empresa 1:
77.48510534350879

Valor 0-100 de la Empresa 3:
11.782219682769435

Figura 9. Predicción de la probabilidad de éxito o fracaso
Fuente: pantalla de la aplicación de prueba de concepto

La interfaz HTML se hizo con la ayuda de la librería de estilos *bootstrap* y el MVC AngularJS. La funcionalidad del algoritmo se hizo con la ayuda de la implementación en *javascript* del algoritmo SHA256 escrito por Chis Veness. En la *demo* se simula un empate entre la empresa 1 y la empresa 3 arbitrariamente para poder demostrar el proceso de desempate.

El HTML de la interfaz:

```
<html ng-app lang=»en»><head>
<meta charset=»utf-8»>
<meta http-equiv=»X-UA-Compatible» content=»IE=edge»>
<meta name=»viewport» content=»width=device-width, initial-scale=1.0»>
<meta name=»description» content=»»>
<meta name=»author» content=»»>
<title>Investigación - Desempate</title>
<link href=»css/bootstrap.css» rel=»stylesheet»>
<link href=»css/narrow-jumbotron.css» rel=»stylesheet»>
<script src=»https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/angularjs/1.2.10/angular.min.js»></script>
<script type=»text/javascript» src=»js/desempate.js»></script>
<style type=»text/css»></style></head>
<body ng-controller=»TodoCtrl»>
<div class=»container»>
<div class=»header»>
<ul class=»nav nav-pills pull-right»>
<li><a href=»index.html»>Index</a></li>
<li><a href=»registro.html»>Registro</a></li>
<li class=»active»><a href=»desempate.html»>Desempate</a></li>
</ul>
<h3 class=»text-muted»>Demo Concurso Publico</h3>
</div>
<form class=»form-horizontal» role=»form» >
<div class=»form-group»>
<label class=»col-sm-3 control-label»>Nombre del Proyecto</label>
<div class=»col-sm-9»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»Nombre del Proyecto» ng-model=»Proyecto»>
</div>
</div>
<h3>Empresas Participantes</h3>
<p>Para el proposito de la demo, la empresa 1 y 3 empatan</p>
<div class=»form-group»>
<label class=»col-sm-2 control-label»>RUC 1</label>
<div class=»col-sm-4»>
```

```

<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»RUC de la empresa 1» ng-model=»Empresa1»>
</div>
<label class=»col-sm-1 control-label»>puntaje</label>
<div class=»col-sm-2»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»puntaje» value=99.5 disabled>
</div>
</div>
<div class=»form-group»>
<label class=»col-sm-2 control-label»>RUC 2</label>
<div class=»col-sm-4»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»RUC de la empresa 2» ng-model=»Empresa2»>
</div>
<label class=»col-sm-1 control-label»>puntaje</label>
<div class=»col-sm-2»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»puntaje» value=48.2 disabled>
</div>
</div>
<div class=»form-group»>
<label class=»col-sm-2 control-label»>RUC 3</label>
<div class=»col-sm-4»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»RUC de la empresa 3» ng-model=»Empresa3»>
</div>
<label class=»col-sm-1 control-label»>puntaje</label>
<div class=»col-sm-2»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»puntaje» value=99.5 disabled>
</div>
</div>
<div class=»form-group»>
<label class=»col-sm-2 control-label»>RUC 4</label>
<div class=»col-sm-4»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»RUC de la empresa 4» ng-model=»Empresa4»>
</div>
<label class=»col-sm-1 control-label»>puntaje</label>
<div class=»col-sm-2»>
<input type=»text» class=»form-control» placeholder=»puntaje» value=70.1 disabled>
</div>
</div>
<h3>Proceso 100% transparente: </h3>
<p>Cadena de la Empresa 1:<br> {{e1seed()}}</p>
<p>Cadena de la Empresa 3:<br> {{e3seed()}}</p>
<br>

```

```

<p>Valor encriptado de la Empresa 1 bajo SHA256:<br> {{sha1()}}</p>
<p>Valor encriptado de la Empresa 3 bajo SHA256:<br> {{sha3()}}</p>
<br>
<div class=>row<>
<div class=>col-sm-6<>
<p>Valor reducido de la Empresa 1:<br> {{trim1()}}</p>
<p>Valor reducido de la Empresa 3:<br> {{trim3()}}</p>
</div>
<div class=>col-sm-6<>
<p>Valor decimal de la Empresa 1:<br> {{dec1()}}</p>
<p>Valor decimal de la Empresa 3:<br> {{dec3()}}</p>
</div>
</div>
<h3>El Resultado mayor de estos 2 es el ganador: </h3>
<p>Valor 0~100 de la Empresa 1:<br> {{win1()}}</p>
<p>Valor 0~100 de la Empresa 3:<br> {{win3()}}</p>
</form>
<div class=>footer<>
<p>Investigacion IDIC 2014</p>
</div>
</div>
<script src=>js/sha256.js<></script>
<script src=>https://code.jquery.com/jquery.js<></script>
<script src=>https://netdna.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.0.3/js/bootstrap.min.js<></script>
</body></html>

```

La interfaz del simulador usa AngularJS para mostrar los resultados en tiempo real, demostrando que los cálculos se pueden hacer del lado del cliente usando solamente la información mostrada en esta, así como los pasos para llegar al resultado final. Para el propósito de la *demo* solo se evalúan las puntuaciones de las empresas 1 y 3, las cuales empatamos con un puntaje de 99,5.

El Javascript ejecutando la evaluación:

```

function TodoCtrl($scope) {
//inicializamos valores arbitrarios solo para la demo (pueden ser modificados haciendo uso de la interfaz)
$scope.Empresa1="123456789";
$scope.Empresa2="489846124";
$scope.Empresa3="483843424";
$scope.Empresa4="7378372114";
$scope.Proyecto="Parque San Isidro"

```

```

//Para la demo, el desempate es para la empresa 1 y la empresa 3 por lo que solo se genera la cadena para
esas 2 empresas
//El formato de la cadena es Proyecto+RUCPropio+RUC1+RUC2+RUC3+...
$scope.e1seed = function(){return$scope.Proyecto+$scope.Empresa1+$scope.Empresa1+$scope.
Empresa2+$scope.Empresa3+$scope.Empresa4};
$scope.e3seed = function(){return$scope.Proyecto+$scope.Empresa3+$scope.Empresa1+$scope.
Empresa2+$scope.Empresa3+$scope.Empresa4};
//Haciendo uso de la encriptacion Sha256, convertimos las cadenas en hashes Sha256
$scope.sha1 = function(){
var aux = Sha256.hash($scope.e1seed());
console.log(aux);
return aux };
$scope.sha3 = function(){
var aux = Sha256.hash($scope.e3seed());
console.log(aux);
return aux };
//cortamos solo los primeros 8 digitos de los hashes
$scope.trim1 = function(){return $scope.sha1().slice(0,8)};
$scope.trim3 = function(){return $scope.sha3().slice(0,8)};
//Convertimos esos valores a decimal
$scope.dec1 = function(){return parseInt($scope.trim1(), 16)};
$scope.dec3 = function(){return parseInt($scope.trim3(), 16)};
// dividimos el valor entre 42949672.95 y nos da un numero aleatorio verificable del 0.00 al 100.00
$scope.win1 = function(){return $scope.dec1()/42949672.95}
$scope.win3 = function(){return $scope.dec3()/42949672.95}
}

```

6.2 Desempate mediante el índice de eficiencia

En este caso se considera un conjunto real de observaciones conformado por la información de los proyectos ejecutados por un grupo empresarial peruano formado por cinco empresas dedicadas a la ejecución de obras públicas. Se logró contar con la data histórica de 209 proyectos de construcción ejecutados por el grupo empresarial desde 1988.

En cada proyecto se identificaron 11 indicadores haciendo un total de 2299 datos que representan los índices de los factores de riesgo diseñados en el apartado 5.3.2 del presente documento. Los indicadores usados para medir los factores de riesgo que afectan a los objetivos de cada proyecto se presentaron en la tabla 1 del apartado 5.3.3.

6.2.1 Elección del modelo

Las pruebas de clasificación se efectuaron con el modelo de red neuronal artificial multicapa *feed forward* (Rumelhart, Hinton y Williams, 1986) usando el algoritmo

de aprendizaje de retropropagación de Levenberg-Marquardt (gradiente descendente optimizado). A fin de mejorar la precisión de la red, se empleó una cantidad más amplia de datos, considerando un conjunto de prueba adicional al de validación. Se probaron 16 arquitecturas de redes neuronales artificiales. La distribución del número de capas, como la cantidad de neuronas por capa, se dio bajo la permutación de los números 5, 9, 10 y 20 (obtenidos por una función *random* de rango [2; 20]). El programa utilizado para la simulación y entrenamiento de la red fue MatLab (Neural Networks Toolbox); asimismo se empleó el *software* Minitab Solutions para el cálculo de los datos estadísticos y la elaboración de histogramas. La función de transición empleada en la red perceptrón multicapa *feed forward* es la función *sigmoidal* para la capa de entrada y las capas ocultas, y una función lineal para la capa de salida de la red.

De los 209 conjuntos de datos empleados (cada conjunto tiene 11 indicadores) en la preparación de las redes, se emplearon 171 en el conjunto de entrenamiento, 19 en el conjunto de validación y 19 en el de prueba.

6.2.2 Evaluación de la red

El entrenamiento de las diferentes arquitecturas de redes neuronales artificiales se evaluó teniendo en consideración dos métricas: el grado de error y el rendimiento (Mse). Para la medición del grado del error de cada arquitectura se empleó el error absoluto medio (*mean*) del conjunto de validación y del conjunto de prueba. Finalmente, la definición del mejor modelo se realizó con base en el cálculo del error absoluto medio (*mean*) de ambos conjuntos. Para la evaluación de los resultados de salida de las diferentes arquitecturas probadas, se empleó el índice de rendimiento (Mse) proporcionado por MatLab (error cuadrático medio relativo al conjunto de entrenamiento) y la media del error absoluto (*mean*) de los conjuntos de validación y prueba. Además, se calculó la desviación estándar del error absoluto de ambos conjuntos para observar la estabilidad de la red. Los resultados mostrados indican que la arquitectura que presenta menor error y que mejor se ajusta para la predicción del modelo es la red *feed forward* 20 x 10 (20 capas ocultas, 10 neuronas en la capa escondida, 10 neuronas en la entrada y una neurona en la salida). Por lo tanto, se escogió la mencionada red como la más apta para la predicción del modelo debido al bajo porcentaje de error que obtiene en los conjuntos de validación y prueba. Se descarta el índice del rendimiento pues es un índice referencial al entrenamiento y a la validación (Matlab solo emplea el conjunto de la prueba para la visualización gráfica de los resultados de la regresión).

6.2.3 Clasificación de los proyectos en dos clases: éxito y fracaso

Se procedió a clasificar los proyectos históricos de la empresa (proyectos ejecutados) en un conjunto de dos clases: éxito (1) o fracaso (0), mediante la comparación del

valor que arroja la red: el valor umbral del índice de cumplimiento (IC), el cual es comparado con el IC real del proyecto ejecutado. Si el IC real es mayor o igual que el IC que arroja el modelo de predicción, entonces lo clasificamos como éxito; en caso contrario, como fracaso. Considerando este esquema se puede construir una base de datos histórica donde los proyectos de infraestructura ejecutados por la empresa forma una clase de proyectos cumplidos (éxito) con clasificación 1 y una clase de proyectos incumplidos (fracaso) con clasificación 0. Las salidas se determinaron según el signo de la diferencia entre el valor real y el valor estimado del índice IC; en caso de ser no nulo o positivo se califica el valor como 1 (éxito), en caso de ser negativo (si realmente está por debajo del promedio) se califica como fracaso.

6.2.4 Cálculo de la probabilidad de éxito o fracaso de un proyecto

Una vez construida la base de datos que contiene todos los proyectos ejecutados por la empresa, con sus indicadores de los factores de riesgo y su respectiva clasificación como éxito (1) o fracaso (0), se procedió a implementar el modelo que prediga la probabilidad de cumplimiento de un nuevo proyecto, indicando su tendencia de cumplimiento (éxito) o incumplimiento (fracaso). Esta metodología implicó el uso de una segunda red neuronal artificial *feed forward* donde las entradas son los indicadores de los factores de riesgo que afectan los objetivos del proyecto, y la salida que se obtuvo es un valor entre uno y cero que representa la probabilidad de riesgo de un nuevo proyecto. Por ejemplo, un valor de salida 1 indicará que el proyecto será un éxito y un valor 0 significará que el proyecto será un fracaso. Si la salida es un valor fraccionario como 0,3 significa que existe un 30 % de probabilidad de éxito del proyecto y un 70 % de probabilidad de que los riesgos se produzcan. Si la salida es un valor de 0,9 indicará que existe una probabilidad del 90 % de éxito y un 10 % de probabilidad que los riesgos se produzcan en el proyecto.

Se optó por crear 16 arquitecturas de redes siguiendo los mismos patrones que en la primera red. Al igual que en la etapa anterior, se busca analizar el *performance* de la red y la medida del error porcentual (*mean*) para la elección de la mejor arquitectura y representación de los patrones.

6.2.5 Construcción de la interfaz de predicción de éxito

Para poder culminar el caso de estudio se procedió a construir una interfaz visual que acepte valores de los indicadores de los factores de riesgo del proyecto como datos de entrada para predecir la métrica de éxito, que en el modelo es el IC descrito en el apartado 5.3. Se eligió construir una interfaz que se programó en el lenguaje de programación Java, y se empleó el IDE Netbeans 7.0 Beta para su desarrollo. La ejecución de esta interfaz requiere JRE 6 (Java Runtime Environment)

y un sistema operativo que lo soporte. La interfaz visual es un formulario que tiene como parámetros los diez índices especificados para el empleo del modelo. También tiene tres opciones para cerrar la ventana, limpiar los campos y predecir el resultado según los datos ingresados.

7. Conclusiones

Esta investigación realizó una prueba de concepto de la arquitectura genérica que actúa en forma autónoma en los procesos de selección de obras públicas, generando un criterio de decisión automática en caso de empate.

Para el procedimiento de selección Adjudicación Simplificada, en caso de empate se comprobó la pertinencia de dicha arquitectura en la elección del postor mediante un sorteo electrónico basado en un sistema de aleatoriedad controlada de encriptación y transformación. El método de encriptación usado fue SHA256.

Para el procedimiento de selección Licitación Pública, en caso de empate también se comprobó la idoneidad de la arquitectura en la elección del postor mediante un índice de cumplimiento pronosticado de acuerdo con el comportamiento de la empresa en la ejecución de proyectos de infraestructura similares. En este caso se generó un modelo que realiza la predicción de la probabilidad de cumplimiento (éxito o fracaso) del postor de ejecutar el proyecto. Se estableció un mecanismo para el diseño de indicadores históricos de medición, determinando los factores de riesgo que impactan en los objetivos del proyecto y logrando generar un proceso inteligente y predictivo.

El caso de estudio asociado a Licitación Pública utilizó un conjunto real de observaciones, conformado por la información de los proyectos ejecutados por un grupo empresarial peruano. Se desarrolló una interfaz de predicción de éxito que acepta valores de los indicadores de los factores de riesgo del proyecto como datos de entrada para predecir la métrica de éxito que en el modelo es el IC. Se usaron para tal fin las redes neuronales artificiales como herramienta de análisis predictivo.

Referencias

- Apaza, M. (2003). *Balanced Scorecard: Gerencia estratégica y de valor*. Lima: Instituto de Investigaciones del Pacífico.
- Basili, V., Caldiera, G. y Rombach, H. D. (1994). *The Goal Question Metric Approach*. College Park: Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Maryland.

- Cantone, G., Sarciá, S., y Basili, V. (2007). *A Statistical Neural Network for Risk Management Process*. College Park: Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Maryland.
- Davis, D. (2000). *Investigación en administración para la toma de decisiones*. México: Thomson.
- Del Carpio, J., y Eyzaguirre, R. (2007). Análisis de riesgo en la evaluación de alternativas de inversión utilizando Crystal Ball. *Industrial Data*, 10(1), 55-58.
- Dixon, J.R. (1970). *Diseño en ingeniería: inventiva, análisis y toma de decisiones*. México Limusa-Wiley .
- González Ramírez, M. R. (2001). *Sistemas de información para la empresa*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Greenwood, W. (1978). *Teoría de decisiones y sistemas de información*. México: Trillas.
- Herrera, F., Herrera-Viedma, E., Verdegay, J.L. (1996). Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators. *Fuzzy Sets and Systems*, 79, 175-190.
- Huber, G. P. (1984). *Toma de decisiones en la gerencia*. México: Trillas.
- Isasi, P., y Galván, I. (2004). *Redes neuronales artificiales: Un enfoque práctico*. Madrid: Pearson Education.
- Keen, P. G. W. Scoot-Morton, M. S. (1978). *Decision support systems: Organizational perspective*. Addison Wesley.
- Kohonen, T. (1982). Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological cybernetics*, 43(1), 59-69.
- Lezama, C. (2007). Indicadores de gestión. Recuperado de <https://docplayer.es/49436198-Indicadores-de-gestion-cruz-lezama-osain.html>
- Matonis, J. (31 de agosto del 2012). BitZino And The Dawn Of 'Provably Fair' Casino Gaming. *Forbes*. Recuperado de <https://www.forbes.com/sites/jonmatonis/2012/08/31/bitzino-and-the-dawn-of-provably-fair-casino-gaming/#597270027593>
- Menguzzato, M., Renau, J.J. (1995). *La dirección estratégica de la empresa: Un enfoque innovador del management*. Barcelona: Ariel.
- Michie, D., Spiegelhalter, D.J. y Taylor, C. C. (1994). *Machine learning, neural and statistical classification*. Londres: Ellis Horwood.
- Moody, P.E. (1991). *Toma de decisiones gerenciales*. Bogotá: Mc Graw Hill Latinoamericana.

- Rumelhart, D. E., Hinton, G.E. y Williams, R. J. (1986). Learning Internal Representations by Error Propagation. En: Rumelhart, D. E., McClelland, J. L. y The PDP Research Group, *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition* (Vol. 1). Boston: MIT Press.
- Salgueiro, A. (2001). *Indicadores de gestión y cuadro de mando*. Madrid: Ediciones Diaz Santos.
- Sarcià, S. A., Cantone, G., y Basili, V. R. (2007). A Statistical Neural Network Framework For Risk Management Process. Proceedings of ICSOFT, Barcelona, SP, 2007.
- Sarle, W. S. (2002). Ai-faq/neural-nets. Recuperado de <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>
- Serra, D. (2004). *Métodos cuantitativos para la toma de decisiones*. Madrid: Gestión 2000.
- Simon, H.A. (1977). *The new science of management decision*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Simon, H.A. (1980). *El comportamiento administrativo: Estudio de los procesos decisorios en la organización administrativa*. Madrid: Aguilar.
- Smith, J. C. (1990). A neural network: could it work for you? *Financial Executive*, 6(3), 26-30.
- Zimmermann, H. J. (1991). *Fuzzy sets theory and its application*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

DIMENSIONAMIENTO DE FLOTA EN LAS OPERACIONES DE CARGUÍO Y TRANSPORTE USANDO MODELOS DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS

Osmar Lins de Noronha
Grupo Pirineus. Goiás, Brasil
sac@grupopirineus.com.br

Alcides Eloy Cano Nuñez / Adeline F. dos Reis
canoalcides@hotmail.com / delinereis@yahoo.com.br
Universidade Federal de Goiás. Goiás, Brasil

Carlos Enrique Arroyo Ortiz
Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, Brasil
carroyo@ufop.edu.br

Resumen

El estudio aborda aspectos que deben ser considerados en el dimensionamiento de equipamiento de carguío y transporte de material (mineral y desmonte) en una mina a cielo abierto localizada en el centro-oeste de Brasil. Este proceso es complejo ya que está involucrada en el análisis una significativa cantidad de variables que limitan las actividades intrínsecas a las operaciones de carguío y transporte, tales como: tasas de producción por unidad de tiempo, características físico-mecánicas del material, distancias de transporte, topografía, diseño de accesos, vías de transporte, ciclos y rendimiento de la flota (camión, pala); adicionalmente, existen otras variables externas que también condicionan la normal operación, dentro las cuales podemos citar lluvia, nieve, neblina y movimiento sísmico. El trabajo tiene como finalidad dimensionar la flota de los equipos de carguío y transporte que atienda el requerimiento de planta de procesamiento de manera eficiente.

Palabras clave: dimensionamiento de flota, análisis estocástico, análisis determinístico

Abstract

Fleet sizing in loading and hauling operations using systems simulation models

The present study addresses aspects that must be considered in the sizing of the equipment for material loading and haulage (ore and waste) in an open-pit mine in the Central-West Region of Brazil. This is a complex process because a significant number of variables that limit the activities intrinsic to the loading and hauling operations are involved in the analysis. Such variables are: production rates per unit of time, physical-mechanical characteristics of the material, hauling distances, topography, access design, hauling routes, cycles, and fleet performance (truck, shovel). Additionally, there are other external variables that also condition a normal operation, such as rain, snow, fog and seismic movement. The purpose of this study is to size the fleet of the loading and hauling equipment that fulfills the processing plant requirements in an efficient manner.

Keywords: fleet sizing, stochastic, deterministic

1. Introducción

Los costos en las operaciones de carguío y transporte de mineral y desmante representan una suma considerable en los costos de producción del mineral. Por consiguiente, el dimensionamiento adecuado de estas operaciones es de extrema importancia a fin de reducir dichos costos. Pinto y Saliby (1999) sostienen que la extracción del mineral a cielo abierto se caracteriza por ser una actividad de alto costo de inversión y el comportamiento estocástico del sistema la hace más compleja, así como también cualquier toma de decisión.

De acuerdo con Koppe (2007), pocas minas consiguen armonizar la relación entre la producción requerida y la capacidad de los equipamientos.

Para definir el tipo de equipamiento y sistema que será requerido, deben considerarse y evaluarse variables tales como: capacidad real de los equipos, distancia de transporte, topografía del terreno, infraestructura disponible en la región, interferencias con el medio ambiente, economía, entre otros (Silva, 2009).

Este estudio de dimensionamiento de flota de carguío y transporte vía simulación fue realizado con la información de una mina de caliza localizada en el centro-oeste brasileño. La mina en cuestión es productora de material para la industria de construcción, agrícola, industria de tintas y fibrocementos. Con los resultados obtenidos será posible proponer alternativas y estrategias de producción que permitan atender los requerimientos de la planta concentradora.

Esta investigación tuvo como objetivo principal realizar un apropiado dimensionamiento de flota a través de técnicas avanzadas de programación estocástica. De este modo se podía abordar el problema real usando modelos de simulación, cuyo propósito es evaluar los escenarios de producción. También se buscó predecir el comportamiento del sistema de carguío y transporte de materiales y analizar la utilización de los equipamientos para determinar de manera objetiva el tamaño de la flota que atiende los requerimientos de producción exigidos por la planta. Finalmente, esta investigación se propuso realizar una comparación entre dimensionamiento analítico versus estocástico y, de este modo, obtener mayores elementos de análisis para una toma de decisiones más acertada.

2. Metodología

Para el abordaje y entendimiento del problema de dimensionamiento de equipamiento de carguío y transporte se realizó una revisión bibliográfica relacionada con carguío y transporte de mineral y dimensionamiento de flota. Seguidamente fue necesario definir los lineamientos y conocimientos técnicos necesarios para estructurar las actividades, las tareas a ser realizadas por el equipo e identificar las variables (tiempos, distancias, operaciones de

equipamientos) y parámetros que intervienen en el problema. Posteriormente se establecieron modelos analíticos y estocásticos que representan el problema. Finalmente, se utilizó *software* como AutoCAD 2014, Mathcad 14.0, Arena 14.0, Excel 2013 y Word 2013 para encontrar los resultados y elaborar los informes correspondientes.

3. Revisión de literatura de operaciones de carguío y transporte de mineral

Las operaciones de carguío y transporte de mineral y desmorte son actividades primarias concernientes a los trabajos de extracción mineral propiamente dicha; la importancia de esta actividad se debe al hecho de formar parte de la cadena productiva del bien mineral. Las excavadoras son equipamientos principales usados en las tareas de carguío y están designadas para cumplir actividades de remoción, carga y descarga del material. Seguidamente, después de que las excavadoras hayan llenado la tolva de los camiones con material rocoso fragmentado, estos últimos transportan la carga a la planta de tratamiento o pila de desmorte, o bien el material podría ser llevado a otras áreas como destino final (Dessureault, 2009).

Los camiones transportan el material en sus tolvas y, según su valor económico, es descargado en planta o pila de desmorte (Bise, 2003). En la figura 1 se muestran las actividades de carguío y transporte de material y se describe gráficamente el ciclo integrado de la producción.

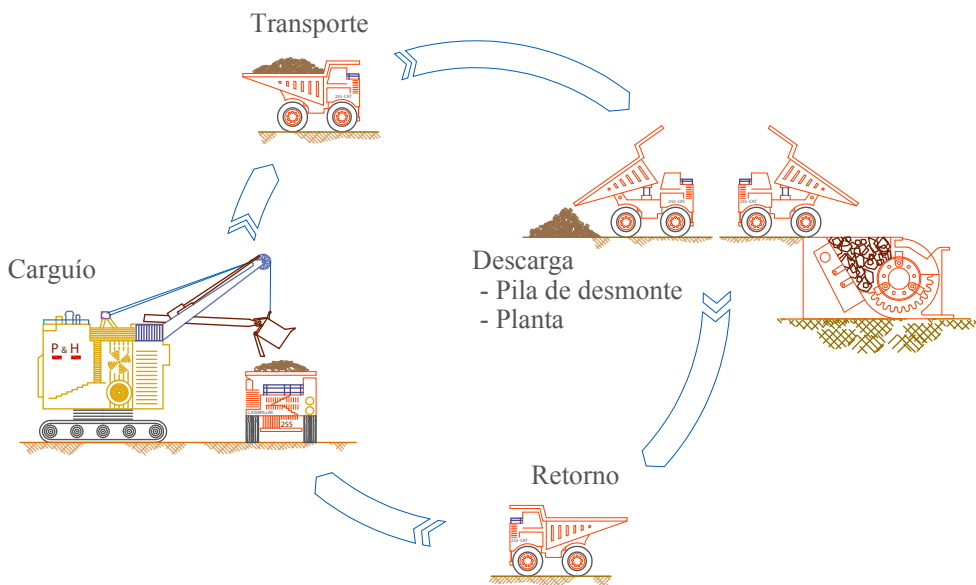


Figura 1. Ciclo de carguío y transporte de mineral o desmorte

Elaboración propia

4. Dimensionamiento de la flota de carguío y transporte de mineral

4.1 Producción en la mina Calcário Ouro Branco

La mina tiene cuatro frentes de explotación: Osvaldo, Grande, Mandacaru y Antônio Ferreira. De cada uno de los frentes de explotación son extraídas materias primas para la producción de cinco derivados: tintas, textura, ración animal, fibrocemento y corrector de acidez del suelo para agricultura. De los cinco productos, solo el corrector de acidez es producido por la propia compañía minera; los otros cuatro son producidos por la mina Fillercal Mineração e Comércio (Grupo Pirineus, 2013). La tabla 1 presenta las unidades mineras y las cantidades extraídas, así como los productos de cada una de ellas.

Tabla 1. Producción planeada y programada en cada unidad

Origen-destino	Production			
	Ene-abr (2016) t/mes	May-nov (2016) t/mes	2017 t/mes	2017 t/día
Osvaldo-planta Ouro Branco (a)	-----	21 400	15 000	625
Grande-planta Ouro Branco (a)	-----	21 400	15 000	625
Mandacaru-planta Fillercal (b)	900	900	4500	188
Antônio Ferreira-planta Fillercal (c)	2300	2300	3000	125
Antônio Ferreira-clasificación	8900	8900	18 720	780
Clasificación-planta Fillercal (b)	8900	8900	18 720	780
Planta Ouro Branco-pila de desmonte	-----	10 300	10 000	417
Total anual	623 700		1 019 280	

(a) insumos para agricultura, (b) insumos para ración animal, (C) insumos para textura, pinturas

Fuente: datos facilitados por la Gerencia del Grupo Pirineus

4.2 Dimensionamiento determinístico de la flota de carguío y transporte de mineral

Para dimensionar los equipos de carguío y transporte es importante revisar el conocimiento técnico referente a las características de cada equipo de carga y transporte.

Sweigard (2002) reúne las principales características que deben ser consideradas en una selección de equipamientos; además se refiere a estudios de diversos autores que han publicado en el área de transporte de materiales.

Sweigard detalla 11 criterios: 1) producción, 2) tasa de producción, 3) disponibilidad, 4) utilización, 5) eficiencia, 6) productividad, 7) capacidad, 8) capacidad nominal, 9) factor de esponjamiento, 10) factor de llenado de la cuchara y 11) ciclo. El autor indica que la utilización

está condicionado por: a) características del material, b) supervisión en el trabajo, c) tiempo de espera en zona de descarga (pila de desmonte o planta), d) falta de camión, e) destreza del operador, f) interrupciones para limpieza del frente de trabajo (limpieza de plaza), g) calidad de la fragmentación, h) capacidad de la cuchara del equipo de carguío e i) pequeñas interrupciones debido a defectos mecánicos que generalmente son imprevistos de mantenimiento.

Las operaciones de carguío en la mina Calcário Ouro Branco son realizadas con cuatro excavadoras CAT 336D para los frentes de Osvaldo, Mandacaru y Antônio Ferreira. Además, dos palas CAT 950H, son usadas en la carga de mineral clasificado, y otra en la carga de desmonte proveniente de la planta en la mina Ouro Branco. El ciclo de trabajo de una excavadora se divide en cuatro actividades realizadas secuencialmente: carguío, maniobra con carga, descarga y maniobra sin carga.

Noronha (2016) determinó a través de informaciones de campo y análisis estadístico que el ciclo de la excavadora CAT 336D es de 0,28 minutos, y de 0,53 minutos el de la excavadora CAT 950H (tales tiempos son valores medios). El transporte de mineral en la mina Calcário Ouro Branco es realizado por medio de volquetes Volvo VM330 de 28,8 t. Estos vehículos realizan seis rutas (circuitos) para el transporte del mineral, una ruta para el desmonte y adicionalmente dos rutas de retorno de pila de desmonte para transporte de mineral.

Los volquetes trabajan en ruta dinámica; por lo tanto, los equipamientos no son exclusivos para una ruta específica. La empresa trabaja dos turnos por día, cada turno de ocho horas programadas y una utilización del turno de 75 %. La tabla 2 muestra la información de distancia y tiempos de ciclo, y la tabla 3 el dimensionamiento determinístico (analítico) para la flota de equipamientos.

Tabla 2. *Distancia y tiempos de ciclo para los camiones*

Origen-destino	Distancia (2016) km	Tiempo de ciclo (2016) minutos
Mina Osvaldo-planta Ouro Branco (a)	1,0	9,90
Mina Grande-planta Ouro Branco (a)	1,0	9,94
Mina Mandacaru-planta Fillerca (b)	1,8	13,53
Mina Antônio Ferreira-planta Fillerca (c)	2,2	14,85
Mina Antônio Ferreira-Clasificación	0,6	7,68
Clasificación-planta Fillerca (b)	2,2	17,34
Planta Ouro Branco-pila de desmonte	0,6	13,55
Pila de desmonte-mina Osvaldo	1,4	3,25
Pila de desmonte-mina Grande	1,4	3,16

Elaboración propia

Tabla 3. Dimensionamiento de flota de carguío y transporte

	M. Osvaldo	M. Grande	M. Ferreira	M. Mandacaru	Clasificación	Pila de desmonte
Modelo de excavadora	CAT336D	CAT336D	CAT336D	CAT336D	CAT950H	CAT950H
Horas por semana	96	96	96	96	96	96
Disponibilidad por turno	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %
Horas efectivas por semana	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80
Días por semana	6	6	6	6	6	6
Semanas por mes	4	4	4	4	4	4
Horas por mes	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20
Capacidad de la cuchara (m ³)	2,55	2,55	2,55	2,55	3,60	3,60
Capacidad operacional	2,295	2,295	2,295	2,295	3,240	3,240
Factor de llenado	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Peso específico esponjado (t/m ³)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo de ciclo (min.)	0,28	0,28	0,28	0,28	0,53	0,53
Factor de eficiencia	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %
Disponibilidad mecánica	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Rendimiento (t/h)	531,13	531,13	531,13	531,13	396,14	396,14
Producción por día (t)	625	625	780	188	780	417
Número de excavadoras	0,09	0,09	0,13	0,03	0,15	0,08
Modelo de camión / volquete	VM330	VM330	VM330	VM330	VM330	VM330
Circuito	1	2	3	4	5	6
Horas por semana	96	96	96	96	96	96
Disponibilidad por turno	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %
Horas efectivas por semana	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80	76,80
Días trabajados por semana	6	6	6	6	6	6
Semanas por mes	4	4	4	4	4	4
Horas trabajadas por mes	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20	307,20

(continúa)

(continuación)

Capacidad de la tolva (m ³)	24	24	24	24	24	24
Capacidad operacional	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
Factor de llenado	80 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Peso específico esponjado (t/m ³)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Tiempo de ciclo (min.)	10,0	13,5	13,5	15,0	8,0	17,5
Factor de eficiencia	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %	72 %
Disponibilidad mecánica	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %	90 %
Rendimiento (t/h)	124,42	92,16	92,16	82,94	155,52	71,09
Producción por día (t)	1250	417	188	125	780	780
Número de camiones	0,80	0,40	0,20	0,10	0,40	0,90

Circuito 1: Osvaldo, Grande-Ouro Branco; circuito 2: Ouro Branco-pila de desmonte; circuito 3: Mandacaru-Filleral; circuito 4: A. Ferreira-Filleral; circuito 5: A. Ferreira-Clasificación; circuito 6: clasificación-Filleral.

Fuente: datos facilitados por la Gerencia del Grupo Pirineus

Elaboración propia

4.3 Dimensionamiento estocástico de la flota de carguío y transporte en la mina Ouro Branco

Cabral (2010), sostiene que un modelo de simulación permite expresar problemas complejos y de carácter dinámico. Noronha (2016) menciona los cinco pasos que debe seguir un estudio de investigación de operaciones: definición del problema, construcción del modelo, solución del modelo, validación e implementación. Para la mina en estudio los tiempos establecidos se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. *Tiempo empleado por los equipos de carguío y transporte*

Dominio	Origen-destino	Tiempo
		tiempo de viaje vacío
		tiempo de carguío
		tiempo de viaje cargado
		tiempo de descarga

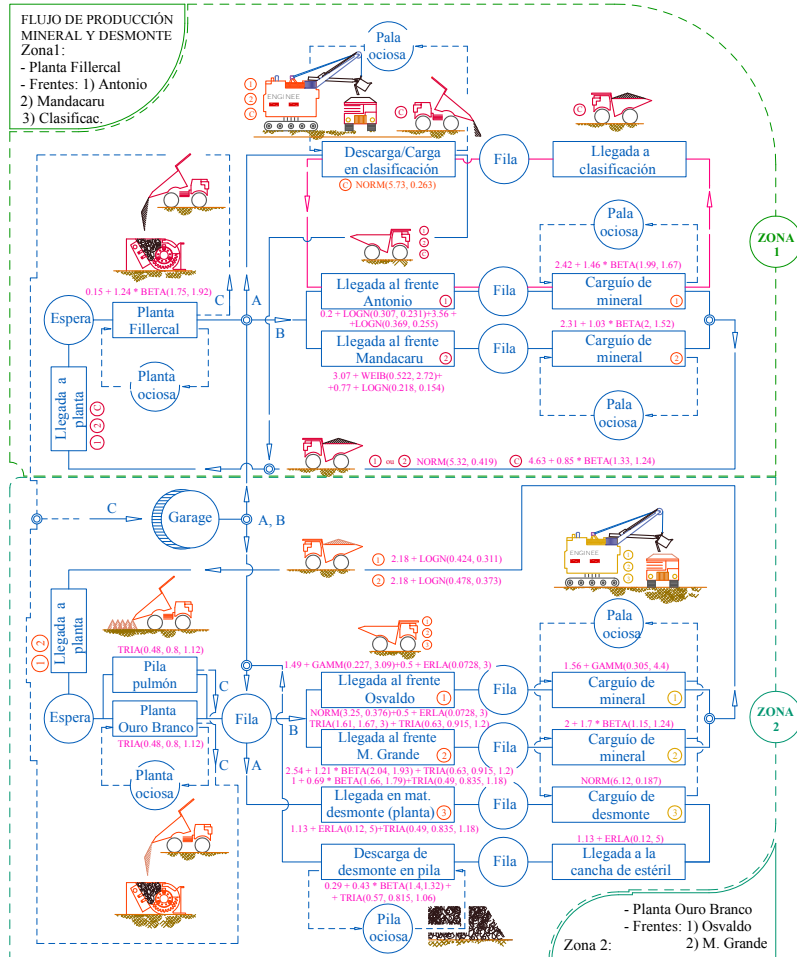
(continúa)

(continuación)

Zona 1	Clasificación-planta Fillercal	$3,59 + 1,24 * BETA (1,58, 1,08)$ NORM (5,73, 0,263) $4,63 + 0,85 * BETA (1,33, 1,24)$ $0,15 + 1,24 * BETA (1,75, 1,92)$
	Antônio Ferreira-planta Fillercal	a) $3,76 + LOGN (0,369, 0,255) + LOGN (0,369, 0,255)$ b) $2,42 + 1,46 * BETA (1,99, 1,67)$ c) NORM (5,32, 0,419) d) $0,15 + 1,24 * BETA (1,75, 1,92)$
	Antônio Ferreira-clasificación	a) $0,93 + WEIB (0,31, 2,08)$ b) $2,42 + 1,46 * BETA (1,99, 1,67)$ c) $1 + 0,7 * BETA (2,08, 1,82)$ d) TRIA (0,34, 0,634, 0,76)
	Mandacaru-planta Fillercal	a) $3,84 + WEIB (0,522, 2,72) + LOGN (0,218, 0,154)$ b) $2,31 + 1,03 * BETA (2, 1,52)$ c) NORM (4,6, 0,244) d) $0,15 + 1,24 * BETA (1,75, 1,92)$
Zona 2	Oswaldo-planta Ouro Branco	a) $1,99 + GAMM (0,227, 3,09) + ERLA (0,0728, 3)$ b) $1,56 + GAMM (0,305, 4,4)$ c) $2,18 + LOGN (0,478, 0,373)$ d) TRIA (0,48, 0,8, 1,12)
	M. Grande-planta en Ouro Branco	a) TRIA (1,61, 1,67, 3) + TRIA (0,63, 0,915, 1,2) b) $2 + 1,7 * BETA (1,15, 1,24)$ c) $2,18 + LOGN (0,478, 0,373)$ d) TRIA (0,48, 0,8, 1,12)
	Pila de desmonte en planta-pila de desmonte	a) $1 + 0,69 * BETA (1,66, 179) + TRIA (0,49, 0,835, 1,18)$ a1) $0,5 + NORM (3,25, 0,376) + ERLA (0,0728, 3)$ a2) $2,54 + 1,21 * BETA (2,04, 1,93) + TRIA (0,63, 0,915, 1,2)$ b) NORM (6,12, 0,187) c) $1,13 + ERLA (0,12, 5)$ d) $0,29 + 0,43 * BETA (1,4, 1,32) + TRIA (0,57, 0,815, 1,06)$ 1 Pila de desmonte a Oswaldo. 2 Pila de desmonte a M. Grande

Fuente: Funciones de tiempo encontradas con el software Input Analyzer ARENA 14, a partir de una base de 25 datos para cada una de las actividades que componen el ciclo de cada operación. Tales informaciones representan medias poblacionales (aplicación y conceptos de teoría de límite central) y fueron tomadas en el año 2016 en campo.

Para la implementación del modelo que simula las operaciones de carguío y transporte en la mina Caliza Ouro Branco fue necesario realizar el Diagrama de Ciclo de Actividades (DCA) de producción (figura 2) de la mina en estudio.



Entidades permanentes: pala, volquete, chancadora, pila

ATRIBUTOS:

- Capacidad del volquete: 28,8 t
- Volquete trabajando en clasificación \odot
- N.º volquetes para Fillercal: 03
- N.º volquetes para Ouro Branco: 02
- Turno de trabajo (t) = 16 horas/día (12HET)

DESVIACIONES:

- t = t - 1
- A, B : t > 0
- C : t = 0

Figura 2. Diagrama de ciclo de actividades de producción mineral en la mina Ouro Branco

Elaboración propia

También se desarrolló el modelo de simulación de las operaciones de carguío y transporte como se muestra en la figura 3.

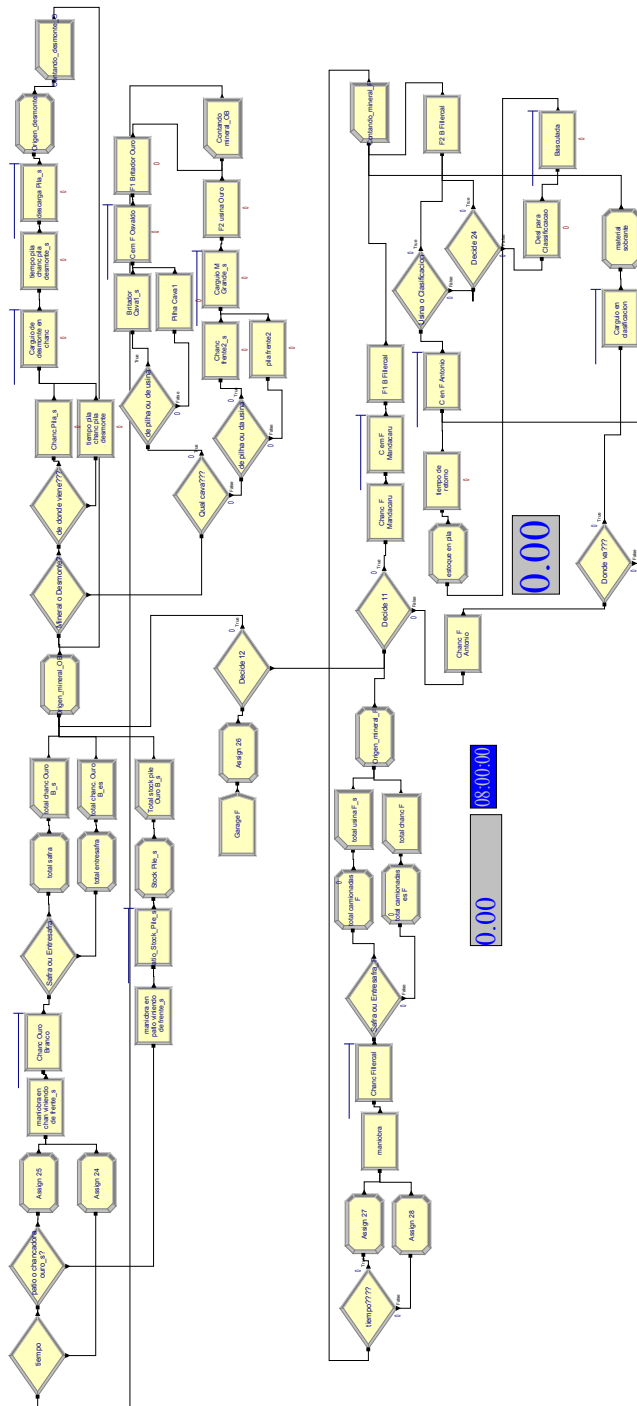


Figura 3. Modelo de simulación para la producción mineral

Elaboración propia

El modelo de dimensionamiento de carguío y transporte representado en la figura 3 está expresado en el *software* ARENA 14 (desarrollado inicialmente por Systems Modeling en 1993, como sucesor de SIMAN y CINEMA, que fueron presentados en 1982 y 1984 respectivamente). En el citado modelo son usados módulos integrados de simulación (CREATE, ASSIGN, DECIDE, RECORD, PROCESS) para eventos discretos, los cuales expresan las actividades desarrolladas por las unidades (camión) y realizadas por los recursos (excavadora). Tales unidades y recursos realizan actividades (carga, transporte, descarga, espera) definidas y condicionadas por expresiones de variable aleatoria, que es definida por un requerimiento de producción. En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en ARENA 14.

Tabla 5. Resultados de la simulación para la flota de carguío y transporte

SIMULACIÓN 1	Equipos		Réplicas o rodadas						
	(a)	(b)	2	3	5	10	20	30	100
Tiempo de simulación - Horas por ciclo			84	120	180	360	480	600	1200
- Producción de Mina-Fillercal (t/h)	3	3	318.67	317.10	317.15	317.41	317.57	317.73	317.78
- Producción de Mina - Ouro Branco (t/h)	2	3	233.00	234.81	234.73	235.89	234.81	235.60	235.44
SIMULACIÓN 2	Equipos		Réplicas o rodadas						
	(a)	(b)	2	2	2	2	2	2	2
Tiempo de simulación - Horas por ciclo			84	96	108	144	156	168	672
- Producción de Mina-Fillercal (t/h)	2	3	217.50	217.88	218.30	219.43	218.53	218.00	218.90
PRODUCCIÓN MEDIA CONSIDERANDO LOS ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN			Análisis Estocástico			Análisis Determinístico			
Producción media de mina para la planta en Fillercal:			317.71 t/h (218.31 t/h (2c))			330.62 t/h			
Producción media de mina para la planta en Ouro Branco:			235.08 t/h			216.58 t/h			
Producción media de desmonte:			80.67 t/h			71.09 t/h			
OTRAS INFORMACIONES OBTENIDAS CON EL SOFTWARE ARENA V. 14									
UTILIZACIÓN Y DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS									
Equipos de Carguío	Cantidad	Utilización	Disponibile						
* M. Mandacaru	1	0.09	0.91						
* M. Antonio Ferreira	1	0.50	0.50						
* Clasificación	1	0.37	0.63						
* M. Osvaldo	1	0.20	0.80						
* M. Grande	1	0.20	0.80						
* Desmonte	1	0.29	0.71						
Equipos de Transporte	Cantidad	Utilización	Disponibile						
* Flota Fillercal	3	0.29	0.71						
* Flota Fillercal	2	0.41	0.59						
* Flota Ouro Branco	2	0.44	0.56						
Equipos de Chancado	Cantidad	Utilización	Disponibile						
* Chancadora Fillercal	1	0.19	0.81						
* Chancadora Ouro B.	1	0.11	0.89						
							Observaciones:		
							(a) Cantidad de camiones		
							(b) Cantidad de excavadoras		

Elaboración propia

5. Conclusiones

A través de la simulación se pueden elaborar modelos que representen de manera más precisa el modelo real de producción, cuyo propósito es predecir el comportamiento de las entidades y analizar los resultados. Además, el modelo permite la visualización del proceso de manera sistemática, integrada y unificada, facilitando el entendimiento y la evaluación del comportamiento de las operaciones ya mencionadas en varios escenarios.

Las conclusiones más importantes a partir del estudio comparativo son las siguientes:

- i) En la simulación se establecieron variaciones en los tiempos y ciclos de rodada, y los resultados de estos escenarios permitieron ajustar la producción programada deseada (tabla 5). Los tiempos empleados en realizar cada actividad que compone el ciclo de producción de los equipamientos de carguío y transporte para el dimensionamiento analítico y estocástico están determinados por cantidades definidas como valor (tabla 3) y funciones de probabilidad (tabla 4). A pesar de que los tiempos de ciclo son diferentes, la producción de la flota determinada con ambos métodos es consistente (tabla 5).
- ii) Al analizar el cálculo de dimensionamiento analítico (determinístico) y la simulación con base en la meta de producción para el año 2017, se concluye que es necesario el uso de seis excavadoras (cuatro CAT 336D y dos CAT 950H para el carguío de mineral y desmonte). Por otro lado, conforme a los resultados obtenidos en la tabla 5, la meta puede ser alcanzada con cuatro camiones: dos para atender la producción de la planta en Fillercal y dos para Ouro Branco. Finalmente, la producción horaria estimada para el dimensionamiento analítico de la planta en Fillercal es igual a 330,62 t/h, y para la planta en Ouro Branco, 216,58 t/h. En cuanto al dimensionamiento determinístico para la planta en Fillercal es igual a 317,71 t/h, y para la planta en Ouro Branco 235,08 t/h (tabla 5).
- iii) Los índices de utilización de los equipos de carguío están relacionados con la cantidad de material producido (requerido). En el dimensionamiento convencional, al considerar los cuatro camiones, el índice de utilización es de 15 % en clasificación, 8 % en chancadora, 9 % en las minas Osvaldo y Grande, 3 % en Mandacaru y 13 % en Antônio Ferreira. Mientras que en el dimensionamiento con simulación con cuatro camiones se tiene 25 % en la clasificación, 28 % en la chancadora, 20 % en las Minas Osvaldo y Grande, 7 % en la Mandacaru y 35 % en Antônio Ferreira. Considerando cinco camiones, se tiene 37 % en la clasificación, 28 % en la chancadora, 20 % en las Minas Osvaldo y Grande, 9 % en Mandacaru y 50 % en Antônio Ferreira. En el dimensionamiento convencional las tasas de utilización de las excavadoras son calculadas de acuerdo con la producción requerida; ya que en la simulación es el *software* el que calcula la capacidad de producción con el uso de cuatro y cinco camiones.

Referencias

- Arena (2007). *Arena® User's Guide*. Rockwell Automation. Estados Unidos de América.
- Bise, C. (2003). *Minning Engineering Analysis*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc (SME).
- Cabral, I. E. (2011). *Simulacao de operacoes mineiras*. Notas de Aula, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, PPGEM - Escolas de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Dessureault, S. (2009). *Operational equipment technology*. Arizona: Mining and Geological Engineering, University of Arizona.
- Koppe, J. (2007). A lavra e a indústria mineral no Brasil. Estado da arte e tendências tecnológicas. En: Fernandes, F.; Castilhos, Z.; Luz, A. B. y Matos, G. (eds.), *Tendências - Brasil 2015 - Geociências e Tecnologia Mineral, Parte II - Tecnologia Mineral*, Rio de Janeiro: CETEM-Centro de Tecnologia Mineral.
- Noronha, O. (2016). *Simulação e dimensionamento de frota das operações de carregamento e transporte na mineração Calcário Ouro Branco Ltda*. Goiás: Escola de Minas da Universidade Federal de Goiás.
- Núñez, A. E. C. (2011). *Dimensionamento de Equipamentos de Lavra – Apostila*. Departamento de Engenharia de Minas. Universidade Federal de Goiás. Goiás: Catalão, Notas de Aula.
- Pinto, L. R. y Saliby, E. (1999). Sistema para simulação a eventos discretos utilizando Borland Delphi. III Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha (SIMIN).
- Silva, V. C. (2009). *Carregamento e transporte de rochas*. Ouro Preto: Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto.
- Sweigard, R. J. (1992). *Materials handling: Loading and Haulage*. Hartman, H. L. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Mining engineering handbook. 2ª edition, volume one. Littleton, Colorado: SME.

AUTOMATIZACIÓN DE REQUISITOS: HISTORIAS DE USUARIO GENERADAS A PARTIR DE UN MODELO ORIENTADO A OBJETIVOS BASADO EN EL *FRAMEWORK* i*

Delicia Esmeralda Lucero Guevara
delicia.lucero.guevara@gmail.com

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Nora Bertha La Serna Palomino
nlasernap@unmsm.edu.pe

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Resumen

Este artículo describe la implementación de una herramienta para la generación automatizada de historias de usuario a partir de un modelo gráfico. Se aplica el enfoque de modelado orientado a objetivos, el cual utiliza la notación i*. El fundamento principal es que el objetivo del negocio no es el que cambia, sino que lo hacen las maneras en que este se puede lograr. Una vez recopilados los requerimientos a través de este modelo se generan las historias de usuario de manera automática para la posterior trazabilidad. Estas cumplen con el estándar base propuesto en las metodologías ágiles, asegurando que al llegar a manos del desarrollador no existan ambigüedades en ninguna de las dos perspectivas: la gráfica y la narrativa. Los resultados de las pruebas con desarrolladores y analistas, así como la aplicación de un cuestionario, demostraron que la herramienta propuesta contribuye directamente al establecimiento de requisitos precisos, completos y consistentes, optimizando el empleo del tiempo de los miembros del equipo.

Palabras clave: requerimientos, historia de usuario, metodologías ágiles, modelamiento orientado a objetivos

Abstract

Automation of requirements: user stories generated from an objective-oriented model based on the notation i*

This paper describes the implementation of a tool for automated generation of user stories from a graphical model. The objective-oriented modeling approach is applied, which uses the notation i*. The main rationale is that the business objective is not the one that changes, but the ways in which it can be achieved.

Once the requirements are compiled through this model, user stories are generated automatically for later traceability. These comply with the basic standard proposed in agile methodologies ensuring that, when arriving at the hands of the developer, there are no ambiguities in either of the two perspectives: graphical and narrative.

The results of the tests with developers and analysts, as well as the application of a questionnaire, showed that the proposed tool contributes directly to the establishment of precise, complete and consistent requirements, optimizing the time used by the team members.

Keywords: requirements, user history, agile methodologies, objective-oriented modeling

1. Introducción

En el campo de la ingeniería de *software* la elicitación es una fase inicial del análisis de requerimientos que debe estar exenta de ambigüedades con el fin de alcanzar un producto de calidad. Analizar los requerimientos demanda un alto grado de interacción entre las partes involucradas para intercambiar información. El ingeniero de requisitos ayuda a los interesados a identificar los requerimientos y el entorno que satisface sus necesidades, que se expresan en un lenguaje natural y sencillo.

El proceso de análisis de requerimientos es de un nivel más alto que el proceso de diseño del sistema técnico en sí, ya que en el primero se evalúan las alternativas con respecto a los objetivos, mientras que en el segundo los objetivos se pueden usar para ayudar a generar sistemáticamente soluciones potenciales.

Actualmente el desarrollo de las aplicaciones *web* sigue metodologías que lo orientan hacia la creación de componentes a medida, la adquisición de componentes de terceros o ambos. Esto ocasiona que exista un número creciente de usuarios expuestos a diversas perspectivas referidas al mismo proceso de negocio, que van desde las interfaces hasta los propios conceptos utilizados en las aplicaciones. También puede provocar que los administradores de las aplicaciones tengan distintos componentes que ofrecen la misma funcionalidad y documentación diversa para definir el mismo proceso.

Aun cuando pareciera que el modelo gráfico y la historia de usuario tienen el mismo propósito, es cierto también que sus perspectivas tienen una representación y léxico propio de analistas versus diseñadores, y que en la interpretación de uno u otro se podría perder la objetividad, distorsionando la necesidad inicial del cliente.

Actualmente los escenarios en los que se desarrollan las aplicaciones son tan volátiles que existe apremio por incorporar nuevos requisitos, modificar requisitos existentes o eliminar algunos que dejan de ser necesarios. Esta situación propicia que se pierda la traza entre el modelo gráfico y la historia de usuario, puntualmente cuando los artefactos que recopilan la información se encuentran aislados.

En este artículo se presenta el marco teórico de la investigación; así como la metodología y técnica que se ha utilizado en el desarrollo de una herramienta gráfica para la automatización de generación de historias de usuarios desde un modelo orientado a objetivos basado en i*. Luego se describe la herramienta de soporte desarrollada y finalmente se presentan los resultados de las pruebas y encuesta aplicadas a los especialistas.

2. Marco teórico

2.1 Ingeniería de requisitos

La ingeniería de requisitos comprende dos procesos principales: a) desarrollo de requisitos, que involucra la captura, análisis, especificación y validación de los requisitos, y b) gestión de requisitos, que es un proceso referido a su trazabilidad (Bourque y Fairley, 2014).

En el proceso de desarrollo de requisitos se deben descubrir los requerimientos para desarrollar un sistema. Esto se logra comunicándose con las partes interesadas (clientes y usuarios del sistema) para obtener información sobre el dominio de la aplicación y los servicios que el sistema debe proporcionar, como el rendimiento del sistema, las limitaciones de *hardware*, etcétera (Sommerville y Sawyer, 1997).

Existe la posibilidad de que los requisitos sean transmitidos de manera incompleta o inconsistente debido a que los clientes utilizan el lenguaje natural para expresarse, mientras que los analistas prefieren un lenguaje más formal.

Con el fin de obtener resultados que aseguren la calidad del *software*, existen muchas propuestas de marcos de trabajo (*frameworks*) y lenguajes que coadyuvan a que los requisitos sean precisos, completos y consistentes (Yu, 1997).

El ideal es desarrollar el producto correcto en el primer intento, para lo cual es necesario detectar los errores en etapas tempranas del proyecto, cuando todavía se puede mitigar el riesgo de rehacer con mayor efectividad y a menor costo (figura 1). El método de ensayo y error, además de ser costoso y lento, crea insatisfacción en el cliente, por lo que se busca mejorar la calidad de los requerimientos para conseguir un impacto positivo dentro del proyecto en cuanto a costo, tiempo y nivel de satisfacción.

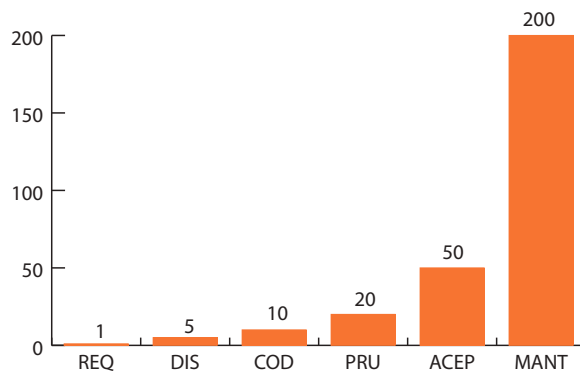


Figura 1. Costo de reparación de un error en función de la etapa en la que se detecta

Fuente: Sommerville y Sawyer, 1994

Se plantea en este artículo que a partir de un modelo gráfico orientado a objetivos basado en el lenguaje i*, es posible identificar los requisitos usando estereotipos para contextualizar los requerimientos de los usuarios. Un enfoque para lograrlo es la utilización de objetivos del negocio que expresen qué esperan los interesados del sistema. El ingeniero de requisitos debe traducirlos a tareas que representen la manera de alcanzarlos.

2.2 Metodología orientada a objetivos basada en i*

La metodología orientada a objetivos basada en i* plantea representar los requisitos a partir de un modelo gráfico, usando para ello estereotipos que contextualizan los objetivos del negocio en un lenguaje natural. Dichos objetivos de negocio expresan lo que los interesados esperan del sistema y deben ser traducidos por el ingeniero de requisitos en tareas que finalmente representan la manera de alcanzarlos.

González-Baixauli, Laguna y Leite (2004) refieren que esta metodología es utilizada para sentar las bases de la definición de los requerimientos de un *software*, donde cada estereotipo muestra un *goal* (meta) cuyo propósito es representar la funcionalidad del *software* a construir. Las tareas indican qué se debe hacer para alcanzar el *goal* y cada *softgoal* es un factor determinante para lograr un buen nivel de calidad en la definición del requerimiento en etapa temprana.

Los objetivos son operacionalizados en escenarios cuyas variantes están enfocadas en cada factor de calidad o *softgoal*. Las tareas implementan las acciones en los escenarios y están asociadas a diferentes contribuciones que provienen de cada *softgoal* (figura 2).

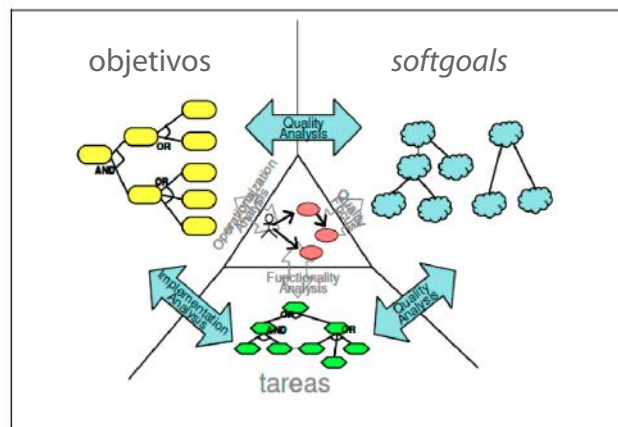


Figura 2. Relaciones entre modelos

Fuente: González-Baixauli, Laguna y Leite, 2004

Asimismo, en el contexto de la presente investigación se propone insertar información en los enlaces generados entre los elementos de esta metodología (*goal*, *softgoal*, tarea y recurso) a fin de gestionar la trazabilidad. La información adicional incluida debe permitir lo siguiente: a) identificar qué actores deben cumplir los objetivos y determinar el impacto de que alguno de éstos deje de implementarse; b) prever la contribución positiva o negativa de cada *softgoal* a fin de asegurar la calidad del *software*, y c) verificar la existencia de objetivos que no hayan sido identificados al inicio o que no hayan sido requeridos por el cliente.

2.3 Historias de usuario

Desde el punto de vista de las metodologías ágiles, las historias de usuario se construyen a partir de una conversación con el cliente. Son descripciones cortas y simples de las funcionalidades del sistema, narradas desde la perspectiva de la persona que desea que se incluya en el diseño dicha funcionalidad (Cohn, 2009). También son utilizadas para la especificación de requisitos y es en este contexto en que se utilizará este término en la presente investigación.

En la figura 3, Moccia (2013) define el ciclo de especificación de requerimientos como una secuencia en la que el equipo encargado de requisitos plantea, en función de la estrategia y objetivos del negocio, los requerimientos que necesitan ser definidos y construidos durante la planificación de requisitos y la priorización por considerar.

De manera similar que un equipo de desarrollo, el equipo de requisitos debe planificar su *sprint*, planificar el trabajo y revisarlo. Si los requerimientos acopiados en el *requirements backlog* cumplen con las expectativas, pueden transferirlos al *product backlog* del equipo de desarrollo.

En muchos casos, las organizaciones tienen definidos documentos adicionales que deben crearse para pasar ciertos controles. Estos ítems deben considerarse en el *requirements backlog*, pero no deben pasar al *product backlog*. No obstante, constituyen también material referencial para el equipo de desarrollo. En este punto es necesario señalar que la trazabilidad desde el *product backlog* hacia cualquier documento externo es una cuestión importante para favorecer la continuidad del proyecto.

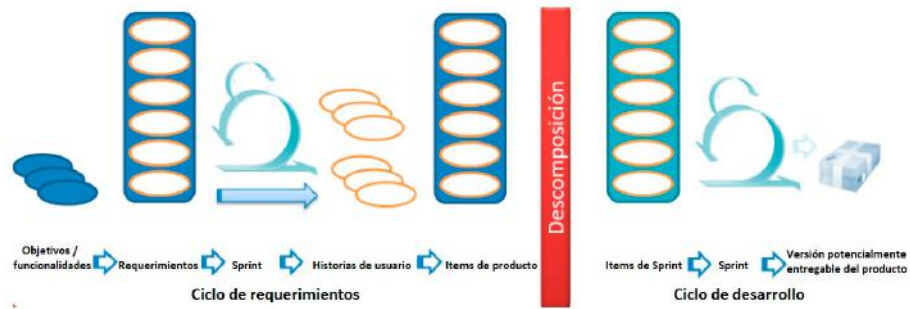


Figura 3. Definición y gestión de requerimientos ágiles

Fuente: Moccia (2014)

3. Herramienta de soporte

El proceso que debe cubrir la herramienta desarrollada ha seguido la metodología y la técnica mencionadas en el apartado anterior (figura 4). Este proceso toma como modelo el empleado por las metodologías ágiles para la especificación de requerimientos a través de historias de usuario y la técnica de modelado orientado a objetivos que utiliza el lenguaje de *framework* i*. Este modelado destaca las relaciones y la importancia de los objetivos de los interesados (*stakeholders*) junto con las contribuciones positivas o negativas de cada *softgoal* que permitan medir el impacto en la calidad del producto final.

Los objetivos representan los requisitos que se ejecutarán. Esta no es una decisión fácil porque cada objetivo podría recibir contribuciones de múltiples *softgoals* (requisitos no funcionales).

Las historias de usuario, generadas automáticamente, deben aprovechar toda esta información de manera que se evite la duplicación en el uso de técnicas de elicitación (entrevistas, cuestionarios, etcétera).

Este proceso descansa en una herramienta que será especificada teniendo en cuenta dos niveles: la arquitectura conceptual y el diseño técnico.

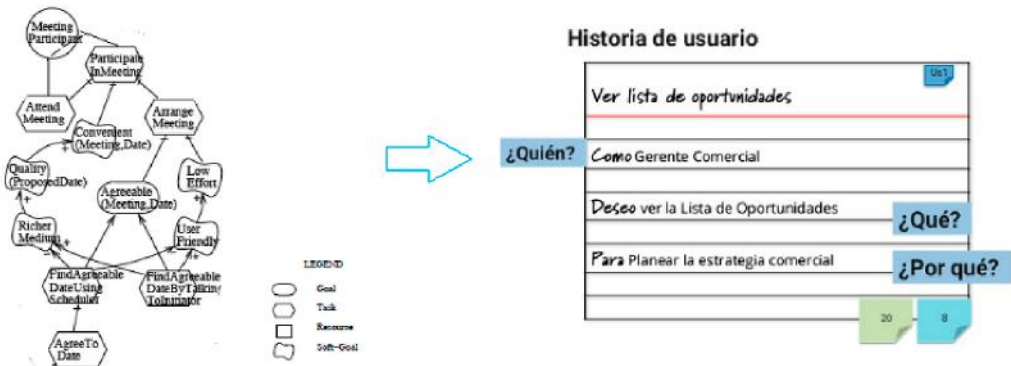


Figura 4. Proceso que debe cubrir la herramienta de soporte

Elaboración propia

3.1 Arquitectura conceptual

La arquitectura de MooTrace mostrada en la figura 5, utiliza el modelo arquitectónico Modelo-Vista-Controlador (MVC) el cual separa una aplicación en tres componentes principales: el modelo, la vista y el controlador. El marco de ASP.NET MVC proporciona una alternativa al modelo de formularios Web Forms de ASP.NET para crear aplicaciones *web*.

Según Microsoft (2018), ASP.NET MVC es un marco de baja complejidad y, al igual que las aplicaciones basadas en formularios Web Forms, se integra con las características de ASP.NET existentes, tales como páginas maestras y la autenticación basada en pertenencia. El marco MVC se define en el ensamblado System.Web.Mvc.

i. Modelo

Los objetos de modelo son las partes de la aplicación que implementan la lógica del dominio de datos de la aplicación. Frecuentemente los objetos de modelo recuperan y almacenan el estado del modelo en una base de datos.

ii. Vista

Las vistas son los componentes que muestra la interfaz de usuario de la aplicación. Normalmente esta interfaz de usuario se crea a partir de los datos de modelo.

iii. Controlador

Los controladores son los componentes que controlan la interacción del usuario, trabajan con el modelo y por último seleccionan una vista para representar la interfaz de usuario. En una aplicación MVC, la vista solo muestra información; el controlador administra y responde a los datos proporcionados por el usuario y su interacción.



Figura 5. Arquitectura conceptual de MooTrace

Elaboración propia

3.2 Diseño técnico de MooTrace

Después de la definición de la arquitectura conceptual de MooTrace, el siguiente paso consiste en seleccionar la tecnología que permitirá implementar dicha arquitectura, siguiendo la estructura mostrada en la figura 6.

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó la base de datos Sql server 2014 y el entorno de desarrollo integrado Visual Studio en su versión 2015, que requiere del Framework 4.5.

El marco de desarrollo .NET reúne todos los componentes necesarios para el desarrollo de aplicaciones estables y escalables en entornos *web*. El componente que cumple estas condiciones es el ASPNET, siendo el lenguaje de programación escogido el C#.

La vista será enriquecida con la librería *go.js*, la cual mediante el uso del elemento Canvas, provee un entorno para crear imágenes dinámicas en el que solo se requiere especificar las dimensiones. Adicionalmente, *go.js* permite crear gráficas complejas apoyándose en los distintos objetos que soporta. Tiene un nivel de flexibilidad bastante alto ya que, una vez creado el diagrama, este puede modificarse para añadir nuevos nodos al no estar construido con imágenes estáticas (Álvarez, 2014).



Figura 6. Diseño técnico de MooTrace

Elaboración propia

3.3 Implementación

En las secciones anteriores se han presentado los componentes que forman la estructura de la herramienta MooTrace y los medios tecnológicos a emplear para llevar a cabo su implementación. En esta sección se detalla la construcción de cada uno de ellos.

En la base de datos se creó la estructura basada en el enfoque del modelado orientado a objetivos.

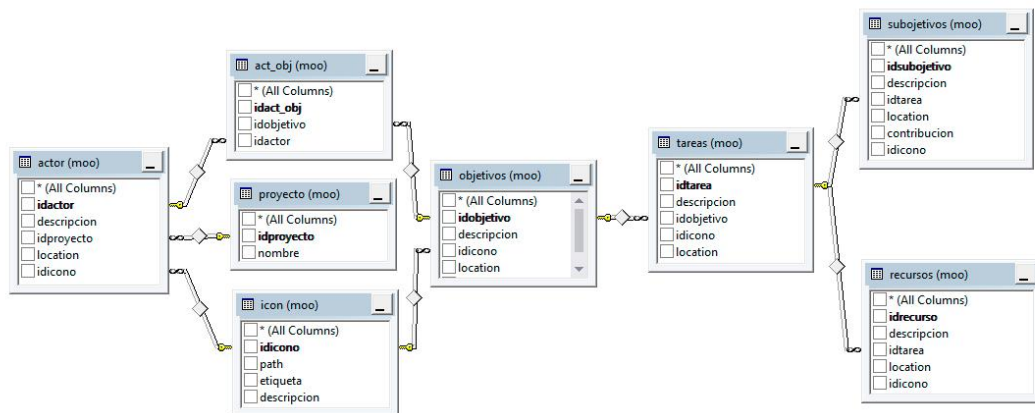


Figura 7. Modelo de la base de datos de MooTrace

Elaboración propia

Por otro lado, la codificación estuvo compuesta por cada uno de los elementos citados a continuación:

i. Modelo

Para trabajar con Entity Framework, se puede utilizar el esquema Database First, que consiste en generar mediante un asistente el modelo conceptual a partir de una base de datos existente, y obtener un archivo *.edmx con todos los objetos que se requiera mapear de la base de datos.

Se accede al menú emergente mediante clic derecho sobre la carpeta Models para agregar un nuevo elemento en la ventana; se selecciona Datos para poder visualizar el elemento ADO.NET Entity Data Model, al cual le asignamos el nombre de “modelmootrace”. Luego se continúa haciendo las configuraciones correspondientes, obteniendo como resultado lo que se observa en la figura 8.

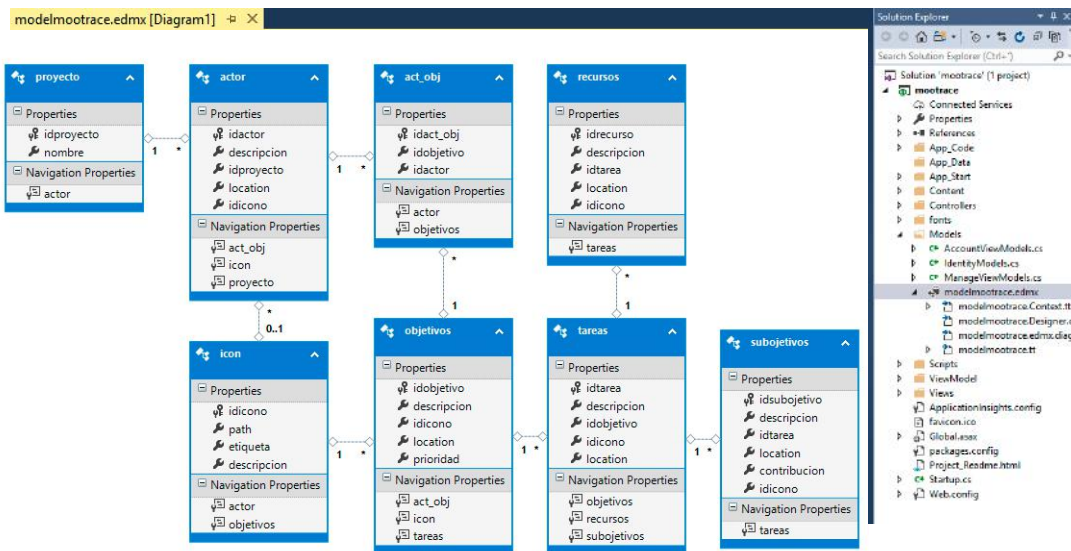


Figura 8. Modelo conceptual creado en la solución MooTrace

Elaboración propia

Cabe destacar que al expandir el modelo agregado en el explorador de soluciones (modelmootrace.edmx) se encontrarán dos plantillas (archivos de extensión *.tt). En la primera plantilla se almacena lo que se denomina contexto. A través de esta clase se establece la conexión con la base de datos. En la segunda plantilla se tienen las tablas que han sido mapeadas en el modelo conceptual (ver figura 9).

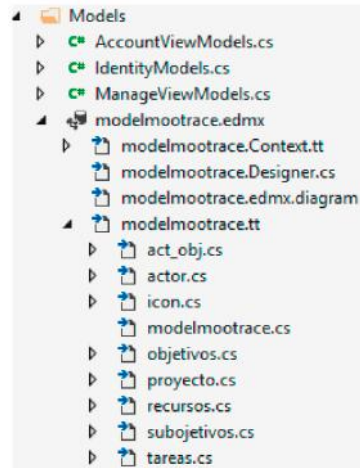


Figura 9. Archivos de mapeo generados a partir del modelmootrace.edmx

Elaboración propia

ii. Vista

En esta carpeta se encuentran las vistas generadas a partir de los controladores, las cuales devolverán y enviarán datos desde el cliente *web*.

Cabe destacar que desde la vista de ModeloMoo se referencia a las librerías para una presentación más dinámica de los estereotipos del modelo gráfico, a través de las siguientes etiquetas (*tags*).

```
<script src="~/Content/js/go.js"></script>
<script src="~/Content/js/go-debug.js"></script>
```

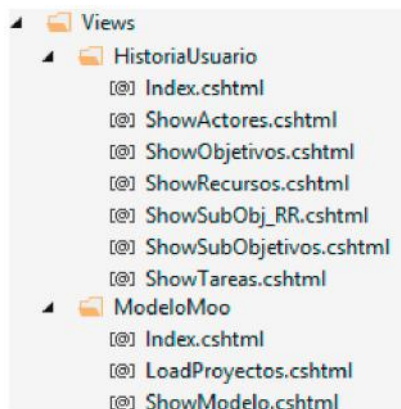


Figura 10. Vistas creadas en la solución MooTrace

Elaboración propia

iii. Controlador

Hemos creado dos archivos de tipo *controller* que llaman a los datos a través del modelo para ser mostrados en la vista, como se muestra en la figura 11.

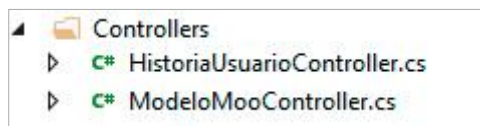


Figura 11. Controladores creados en la solución MooTrace

Elaboración propia

El componente *ModeloMooController.cs* es el responsable de procesar las solicitudes de entrada, manipular la entrada, guardar datos y enviar una respuesta de vuelta al usuario respecto al diagrama del modelo orientado a objetivos.

El componente *HistoriaUsuarioController.cs* es el responsable de procesar las solicitudes de entrada, manipular la entrada, guardar datos y enviar una respuesta de vuelta al usuario, respecto a la historia de usuario generada a partir del controlador *ModeloMooController.cs*.

3.4 Implementación de un caso de estudio

El caso de estudio se basó en métricas que permitieron una evaluación cuantitativa de la herramienta *MooTrace* que incluyó los factores propuestos por el estándar ISO 9126.

El perfil de los 70 participantes de las pruebas se caracterizó por tener una mediana de ocho años de experiencia en análisis y diseño de sistemas. El 40 % de ellos tenía menos de cinco años de experiencia y el 100 % de ellos estaba asignado a un proyecto. Fue posible subagruparlos por proyecto asignado.

El objetivo de las pruebas fue medir el nivel de usabilidad de la herramienta *MooTrace* mediante la realización de las siguientes tareas: a) elaborar un modelo gráfico por parte del grupo de analistas, y b) generar de manera automatizada el formato de historia de usuario por parte del grupo de desarrolladores.

La herramienta fue probada por dos grupos, el primero de 30 analistas y el segundo de 40 desarrolladores, a los que se impartió una inducción acerca de los estereotipos para la creación del modelo gráfico que plantea el enfoque propuesto (figura 12). El primer día de pruebas se trabajó con los analistas y el segundo día de pruebas con los desarrolladores.



Figura. 12. Estereotipos de la solución MooTrace

Elaboración propia

Al completar el proceso de prueba, los participantes resolvieron un cuestionario de ocho preguntas referido al uso de la herramienta y se les solicitaron sugerencias de mejora. En la figura 13 se puede observar un ejemplo del modelo gráfico creado con la herramienta MooTrace, y en la figura 14 se aprecia un ejemplo de la historia de usuario generada a partir del paso anterior en siete segundos. Este es un valor referencial.

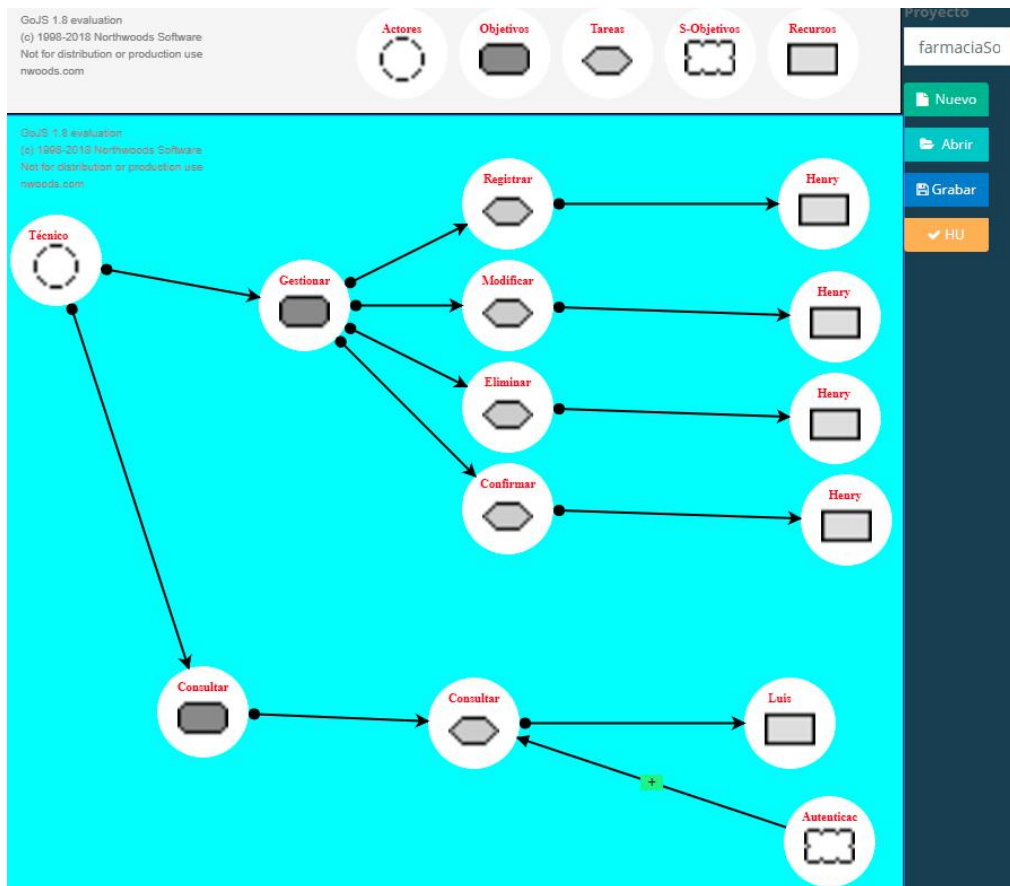


Figura. 13. Creación del modelo gráfico

Elaboración propia

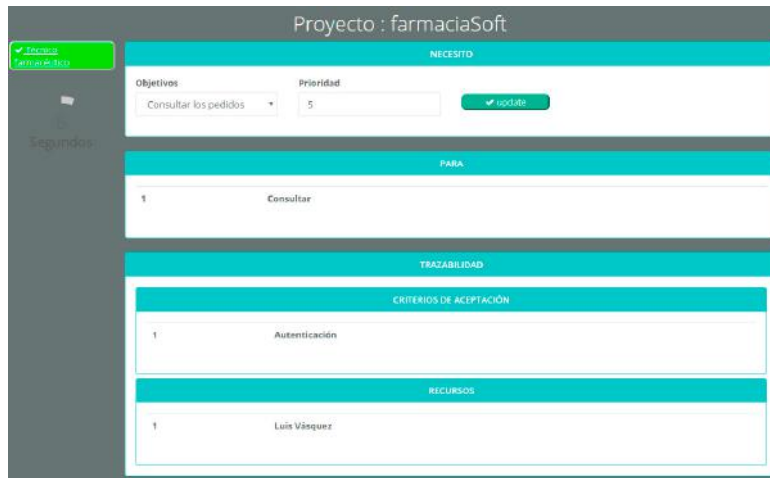


Figura 14. Automatización de las historias de usuario

Elaboración propia

4. Resultados

Los indicadores de satisfacción más representativos obtenidos a partir del proceso de pruebas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Principales indicadores de usabilidad de MooTrace

Pregunta del cuestionario	Indicador
¿Los estereotipos usados en el modelo gráfico son entendibles?	El 90 % de los encuestados afirma que entendió rápidamente el propósito de cada estereotipo del modelo gráfico.
Al crear el modelo gráfico, ¿representa de manera sencilla los requerimientos esperados por el cliente?	El 85 % de los encuestados afirma que el modelo representa lo requerido, aunque esperan un mayor detalle.
Al automatizar la creación de las historias de usuario, ¿considera que el tiempo ahorrado es relevante?	El 100 % de los encuestados afirma que es importante el ahorro de tiempo en la automatización de este formato.

Elaboración propia

Asimismo, los participantes en las pruebas expresaron tener expectativas en que la información generada por MooTrace contribuya en la gestión de la trazabilidad de los requerimientos y sirva también para analizar el impacto del cumplimiento y de los cambios en las tareas o recursos considerados en el modelo gráfico.

5. Conclusiones y recomendaciones

La ingeniería de requisitos tiene un papel cada vez de mayor relevancia como garantía del cumplimiento eficaz y eficiente del proceso de desarrollo de *software*. Por ello, cualquier indicador, incidencia o factor de éxito en el proceso de desarrollo de requisitos debe ser oportunamente identificado para ser aprovechado adecuadamente. En este contexto y a partir de las pruebas desarrolladas con la herramienta *MooTrace* la presente investigación establece las siguientes conclusiones:

La herramienta de modelado gráfico propuesta permitió representar con suficiencia los requisitos, de acuerdo con lo manifestado por el 85 % de analistas participantes en las pruebas, siendo deseable alcanzar un mayor nivel de detalle.

El rol de los estereotipos de la herramienta de modelado gráfico, así como su propósito y contribución a la comprensión del requerimiento, fueron reconocidos como adecuados por el 90 % de analistas que participaron en las pruebas.

Se comprueba la factibilidad de generar un formato de historia de usuario a partir del modelado gráfico en un tiempo referencial de siete segundos, lo cual es apreciado como un ahorro relevante de tiempo en las tareas de refinamiento de requisitos por el 100 % de los desarrolladores participantes.

La mejora de esta herramienta de modelado gráfico orientada a objetivos debe cubrir en el futuro la totalidad del ciclo de gestión de los requerimientos, lo cual permitirá tener perspectivas distintas para cada miembro del equipo sin vulnerar el origen del requisito en sí. Queda como propuesta gestionar la trazabilidad de los requerimientos, así como analizar el impacto del cumplimiento y de los cambios en las tareas o recursos del modelo gráfico.

Referencias

- Álvarez, C. (2014), *Go JS interactive diagrams for the web*. Genbeta. Recuperado de <https://www.genbeta.com/desarrollo/go-js-una-libreria-para-html5-canvas>.
- Bourque, P. y Fairley, R. E. (eds.) (2014). *Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK(R)): Version 3.0*. Piscataway, N. J.: IEEE Computer Society Press.
- Cohn, M. (2009). *User stories applied: For agile software development*. Boston: Pearson Education.
- González-Baixauli, B., Laguna, M. A. y Leite, J. C. S. (2004). Análisis de variabilidad con modelos de objetivos. En M. Ridao y L. Marcio Cysneiros (eds.). *Workshop em Engenharia de Requisitos (WER)*. Tandil, Argentina, (pp. 77-87).

- Microsoft (2018). Información general sobre ASP.NET MVC. *Developer Network*. Recuperado de [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/dd381412\(v=vs.108\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/dd381412(v=vs.108).aspx).
- Moccia, J. (2013). *Agile requirements, definition and management (RDM)*. OneSpring. Recuperado de http://community.protoshare.com/wp-content/uploads/2014/03/Agile_RDM.pdf.
- Sommerville, I. y Sawyer, P. (1997). *Requirements engineering: a good practice guide*. John Wiley & Sons, Inc.
- Yu, E. S. (1997). Towards modelling and reasoning support for early-phase requirements engineering. En *Proceedings of the Third 1997 IEEE International Symposium, Requirements Engineering* (pp. 226-235). Annapolis, MD, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

DESIGNING UNCOMPLICATED SOFTWARE

Michael Dorin
mike.dorin@stthomas.edu
University of St. Thomas. Minnesota, EE. UU.

Sergio Montenegro
sergio.montenegro@uni-wuerzburg.de
Universität Würzburg, Würzburg, Germany

Abstract

The Agile Manifesto prescribes less focus on tools and processes, and more focus on human interactions. This is a very important and powerful concept; however, many development organizations have interpreted it in terms of no procedures and no processes. This is understandable as many activities, such as the design workflow, are thankless and laborious. When a proper design is missing, the resulting source code may become overly complicated and difficult to maintain. The software design does not have to be arduous as this workflow can be done without pain through an adaptation called Responsibility-Driven Design. This adaptation assigns personalities to the internal components of the software to humanize the operation. The new design workflow is completely compatible with agile concepts such as customer interaction, and produces a credible candidate architecture ultimately resulting in the creation of a less complicated software.

Keywords: Agile Manifesto, software design, human interactions, Responsibility-Driven Design

Resumen

Diseño de *software* no complicado

El Manifiesto Ágil prescribe disminuir el foco en las herramientas y procesos para centrarlo en las interacciones humanas. Este es un concepto muy importante y potente; sin embargo, muchos equipos de desarrollo lo han traducido en términos de no procedimientos y no procesos. Esto es comprensible ya que muchas actividades, entre ellas el flujo de trabajo del diseño, son ingratas y laboriosas. Cuando no se realiza un diseño apropiado, el resultado puede ser un código demasiado complejo y difícil de mantener. El diseño de un *software* no tiene que ser arduo y el flujo de trabajo puede aliviarse con una adaptación denominada "diseño conducido por la responsabilidad" (Responsibility-Driven Design). Esta adaptación asigna personalidades a los componentes internos del *software* para humanizar la tarea. El nuevo flujo de diseño es completamente compatible con los conceptos de agilidad, como la interacción con el cliente, y produce una arquitectura candidata con credibilidad que resultará en la creación de un *software* no complicado.

Palabras clave: Manifiesto Ágil, diseño de *software*, interacciones humanas, diseño conducido por la responsabilidad

1. Introduction

For whatever reason, designing a software has not been as glamorous as simply writing it. In the days when design relied heavily on flowcharts and data flow diagrams, programmers would complain about management requiring those steps. Some organizations believe architecture design is too expensive and time consuming. Another contributing factor to this, at least at the beginning of a project, is that the software problem to be solved is not well understood (Foote & Yoder, 1997).

Immediately writing a code is seen as a way for engineers to begin understanding the domain with the thought of writing the “real code” later, which more often than not will never happen. In the eyes of the customer and management, the code is working, and the team is demonstrating progress.

At this point, piecemeal growth of the software begins and development starts to grow in an uncontrolled fashion (Foote & Yoder, 1997). Put another way, rather than a design and architecture structuring the code, the code defines the design and architecture. This results in an overly complicated code base which is hard to expand and maintain (Foote & Yoder, 1997).

Many alternatives to this approach have been invented such as the Responsibility-Driven Design. As stated by Rebecca Wirfs-Brock, “Responsibility-Driven Design is a way to design that emphasizes behavioral modeling using objects, responsibilities, and collaborations. In a responsibility-based model, objects play specific roles and occupy well-known positions in the application architecture.” (Wirfs-Brock & Wilkerson, 1989). This concept of Responsibility-Driven Design is beneficial for analyzing and designing workflows of software engineering.

If Responsibility-Driven Design is handled at an even more basic level than as described by Wirfs-Brock, a much unencumbered design workflow is produced which nicely partitions the modules of a system.

The goal of the new workflow is to create a better, less complicated software from a human perspective. As part of this ongoing research, students performed analyses and designs using these techniques, the results of which are provided herein.

2. Background

2.1 Complicated code

When discussing a complicated code, it is important to agree on what the term “complicated code” means. Complicated code is a code which is hard to understand and explain by a human who is reading it. Problems with a complicated code are well known and well documented (Banker, Datar, Kemerer, & Zweig, 1993).

The first step in preventing a complicated code is to reacquaint with what makes software complicated. The paper “Coding for Inspections” described a survey carried out to identify the most basic problems seen by software engineers when reviewing a code. Concern for software complexity is not new as McCabe and Halstead designed complexity measurement metrics more than forty years ago (Dorin, 2018). Though a Google search identifies dozens of newer metrics, Halstead and McCabe are readily available without cost. Software is considered undesirable to review when it has higher cyclomatic complexity and higher Halstead difficulty (Dorin, 2018).

Another aspect identified is how stylistic issues also made source code more complicated to review. Table 1 lists the stylistic violations identified in “Coding for Inspections and Reviews” which most bothered reviewers (Dorin, 2018).

Table 1. *Most unpleasant to review styles*

Style Name
There should be space around operators
Do not write over 120 columns per line
Average length of functions
Indent blocks inside of a function
Put matching braces in same column
Use less than 5 parameters in function
Do not use the question keyword
Avoid deeply nested blocks
Use braces for even one statement

2.2 Irreducible complexity

With the thought of avoiding a complicated code in mind, one might think about irreducible complexity. Irreducible complexity is not a universally accepted concept in the biological sciences. Michael Behe defines irreducible complexity as a single system composed of several well-matched, interacting parts that contribute to the basic function, wherein the removal of any one of the parts causes the system to effectively cease functioning. Put simply, if we take a piece away, the system no longer performs as it was intended to (Behe, 2009). Supporters of intelligent design believe this shows that evolution cannot be completely responsible for life on this planet; there had to be an intelligent creator involved.

The merits of biological intelligent design will not be debated here, but one cannot avoid noticing the parallels between computer/software evolution and biological evolution. A code is said to evolve, but a code cannot evolve without the hand of the creator. Some have suggested a code “rots” if left alone long enough. In practice though we can recognize it is not the code that is rotting, but the environment that it was designed to run on is changing. In computer software, there is no way not to recognize the hand of an arguably intelligent creator. An accounts receivable program may one day evolve into a full accounting system program, but it will not do so by mutation.

As a software engineer, this concept should be kept in mind during analysis and design. If a design is overly complicated, the software engineer should work to eliminate extra complexity, with the final target being reduced until the program can be reduced no more without destroying product functionality. Extraneous parts that do not contribute to the program’s functionality should be removed.

3. Components of the new workflow

3.1 Dress rehearsal

Military organizations around the world have used rehearsals for centuries. It is said that the Romans rehearsed battles using sand tables with icons to visualize the battlefield (Smith, 2010). The modern army believes the rehearsal is a tool for commanders to make sure parties involved understand the intent and concept of the operations. Rehearsals provide opportunity to identify inadequacies in a plan that were not previously recognizable. Rehearsals contribute to external and internal coordination. (Army, 2015) In other words, rehearsals of all shapes and sizes are used to ensure efficient battlefield operations. Dress rehearsals can be entire battlefield simulations with whole army units participating, or they can be small, where individuals take on the role of entire units. Events are simulated in real-time and participants act out their responsibility at different points of the exercise (Army, 2015). Obviously, the military is not alone in using rehearsals and this is a powerful tool that can be well used in software engineering.

3.2 Play writing

It may be considered odd that information on writing a play would be included in a discussion of software engineering life cycle models. However, when considering employing rehearsals as tool, using a play as a structure should not be overlooked. In his book, “Writing Your First Play”, Roger Hall outlines elements of a play (Hall, 2012). Section 1 covers action and how dynamic action employs verbs. In software engineering, verbs can be used to represent methods or functions in your code.

Section 2 discusses obstacles and conflict, such as the conflict faced by stakeholders who do not have the required software.

Though this technique can work with any architecture design, the Model-View-Controller design pattern (MVC) works very well for this approach. MVC defines a plan for organizing components.

The model portion handles data storing and the algorithms for processing data. The view portion is responsible displaying information and results to the user. The controller is in charge and sends commands to the model and the view (Rosenbloom, 2018).

There are many resources describing how to write a successful play; however, applying artistic information to software design is not always obvious. In playwriting, it is important to come up with a main character, then decide on the conflict or problem (Victor, 2009). Afterwards, it should be decided on a beginning point and show the story in actions and “speech”. Don’t overdo it: one group of students wrote their play based on Star Wars characters and, upon rereading at a later date, they could not remember the roll of each character.

There is one more suggestion which can be a benefit to the success of a play, especially for new authors. Characters with special skills should be provided or generated before playwriting begins. In the sample play, characters with different skill sets participate in completing the required task.

For example, the “Artista” character is responsible for communication. A “Jefa” character is responsible for the overall operation. Other characters for security, data management, and direct communications are included. See Table 2 for a complete list. The “Profesor” and the “Estudiante” are the only two human characters in the play and they represent the users of the software.

The main character of the play is the “Profesor,” though the “Jefa” has an active supporting role. As play writers should give characters a significant problem to solve immediately, in the sample play, the problem to solve is how the professor best communicates with students during class.

3.2.1 Example Play: The happy class

Table 2. Play characters

Name	Character Title	Responsibility
Claudia	Oficinista (File clerk)	Stores and retrieves data
Diego	Estudiante (Student)	A student using the system (Human)
Gonzalo	Guachimán (Security)	Provides user validation
Patricio	Profesor (Professor)	A professor using the system (Human)
Rebecca	Jefa (Boss)	Manages software operations
Sergio	Telefonista (Telephone operator)	Provides internal communications
Valeria	Artista (Artist)	Generates output to users

Setting

Three software people (Valeria, Rebecca, Patricio) are sitting around piles of paper showing user stories and use cases. A low-resolution prototype is taped to the wall. Cups are full of coffee. The three are very pleased with the quantity and quality of their requirements gathering analysis but harbor some doubts with respect to moving to the next phase.

Narration

Valeria: This is sure good coffee. Do you think we have enough?

Rebecca: I hope not, I want to wrap up and go home... but now what?

Patricio: Now we have to come up with a candidate architecture, but where do we begin? We have gathered so much information and talked to so many people. We even have fantastic low-resolution user interface prototypes.

Valeria: Perhaps we start small. Rebecca, please grab me a minor use case.

Valeria: Ok, I have the "Profesor Logs In" use case, but it is still not obvious how to continue.

Rebecca: I know. Let us pretend to be the software. Perhaps we can get an idea of how to construct this thing!

Patricio: Don't be silly.

Rebecca: Wait, wait, let us just give it a try and see where it takes us.

- Patricio: Ok, I will pretend to be the *Profesor* in the use case. Rebecca, you'll be the Software.
- Patricio: I'll start.
- Patricio: Hola, Rebecca. I want to set up a class.
- Rebecca: I am not sure what you want or how to help. Valeria, can you show him what he can do?
- Valeria: Ok, I will pretend to be in charge of showing stuff.
- Valeria: Ok, here are your options. (Valeria shows Patricio a sheet of paper. Patricio pretends his options are written on it.)
- Patricio: I think this is getting closer, but rather than calling you by name, I am going to call you by a title to help this stay organized. I will be the Profesor. Rebecca, you seem to be the boss so I will call you "*Jefa*." Valeria, you seem to be a communicator, so I will call you "*Artista*".
- Profesor: Hola, *Jefa*. I want to set up a class.
- Jefa*: *Artista*, please show this *Profesor* his options.
- Artista*: Profesor, welcome, here is our main screen. Professors need to sign in.
- Jefa*: STOP! I don't know how people authenticate. I just know how to boss people around. We need somebody like a '*guachimán*' to handle this. (Just then they notice Gonzalo is sitting in the corner.)
- Patricio: Hey, Gonzalo, come here for a second. We need you to be a *guachimán* in our software world.
- Gonzalo: Hey, a *guachimán*? Wow! That sounds like fun!
- Patricio: Ok, let us continue again. Remember: Rebecca is the *Jefa*.
- Profesor: Hey, *Jefa*, I want to set up a class.
- Jefa*: *Artista*, please show this *Profesor* his options.
- Artista*: *Profesor*, welcome, here is our main screen: Professors need to sign in.
- Profesor: *Guachimán*, here is my info.
- Guachimán*: *Jefa*, the *Profesor* has signed in.
- Jefa*: *Artista*, please show the *Profesor* how to create a class.

- Artista: *Profesor*, please provide a class name and let us know when you are ready to start.
- Profesor: *Jefa*, I want to start a class named SEIS610. It is my favorite class and a fantastic professor teaches it.
- Rebecca: STOP. I don't know how to create a class. We need somebody to keep track of all of this. Wait, Claudia, come here. Can you pretend to be an *Oficinista* for us? Please, just for a bit. Ok, Claudia, when I call out "*Oficinista*", you answer.
- Claudia: Do I have to call you "*Jefa*"?
- Rebecca: Yes, you do.
- Rebecca: Ok, now let us continue
- Jefa: *Oficinista*, please create a class named SEIS610.
- Oficinista: Ok, *Jefa*, here is that class you wanted.
- Rebecca: Stop again. Ok, Claudia has created a class for us but how do I talk to it. Claudia does not know anything about talking to classes. It's like we need a telephone operator. Sergio, come here for a second. We need you to pretend to be a telephone operator.
- Sergio: Do I have to?
- Rebecca: Yes, you do; and yes, you need to call me "*Jefa*".
- Rebecca: Alright, let us continue again.
- Jefa: *Telefonista*, can you please give me a new channel?
- Telefonista: Yes, *Jefa*, here you go.
- Jefa: *Oficinista*, hey, sorry to bug you again, but can you store this channel information?
- Oficinista: *Jefa*, consider it done!
- Jefa: *Artista*, can you show the *Profesor* a classroom based on the new class with this ID and channel information?
- Artista: *Profesor*, here is your class. Make sure you tell your students the ID is 1234! (Diego walks by... he decides to be funny and pretends to be a student.)
- Diego: Hey, look at me. I am an *Estudiante*!

Estudiante: *Hola, Jefa*, I want to participate in class with ID 1234.

Jefa: *Oficinista*, do we have a class with ID 1234? If so, can you give it to me?

Oficinista: *Yes, Jefa*, we do have that class; here is the info.

Jefa: *Artista*, can you display a class to this *Estudiante* with this info?

Artista: *Estudiante*, here is your class.

Estudiante: *Jefa*, can you tell the *Profesor* that I don't understand the problem just described?

Jefa: *Oficinista*, what is the channel that class 1234 uses?

Oficinista: Class 1234 uses this channel.

Jefa: *Telefonista*, can you relay this question to this channel to the *Profesor*?

Telefonista: Yes, I will, and I have.

Patricio: Well done, gang! I think this gives us a fascinating picture! The end!

3.3 Responsibility-Driven Design

Data flow diagrams remain a very popular form of analyzing a system. Data flow diagrams, as their name implies, are data centric. Responsibility-Driven Design proposes that, instead of thinking about data and algorithms which process data, one should think about objects with responsibilities.

Responsibilities are made up of two basic items: what it knows and what it can do. Basically, objects are bundles of data and operations on that data (Wirfs-Brock & Wilkerson, 1989).

Responsibilities are identified by highlighting the nouns and the verbs in the requirements, such as user stories. Verbs are candidates for actions a class can perform, and nouns are candidates for information that the class should maintain (Wirfs-Brock & Wilkerson, 1989).

In Responsibility-Driven Design, objects have a very specific part of the application. Each object is responsible for doing one portion of the work. Objects do only one job, and they must do that one job well. Objects then communicate with each other to fulfill the larger goals of the application.

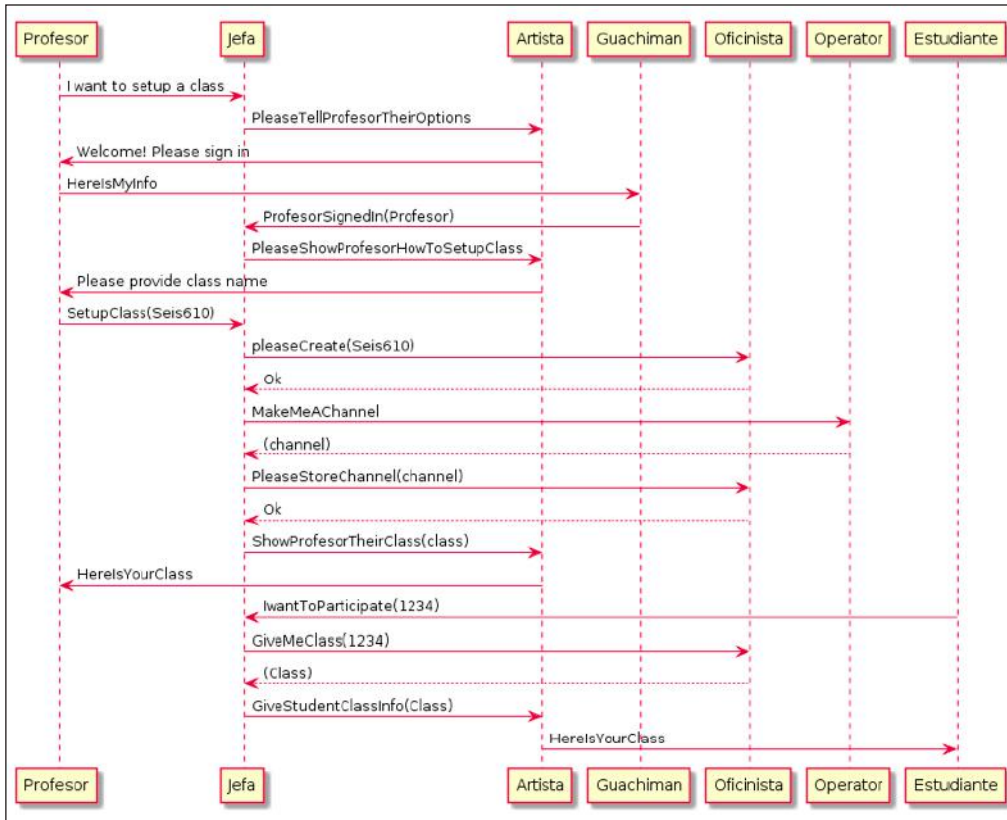


Figure 1. Example sequence diagram

3.4 Unified Modeling Language (UML)

The Unified Modeling Language (UML) defines a standard set of diagrams used in designing software (Larman, Kruchten, & Bittner, 2001). UML sequence diagrams visually describe the actions of objects in a time sequence. An example of a sequence diagram is shown in Figure 1.

In the Unified Modeling Language, class diagrams show the relations and dependencies among classes. Class diagrams are used to show the overall architecture of a design. An example of a class diagram is shown in Figure 2.

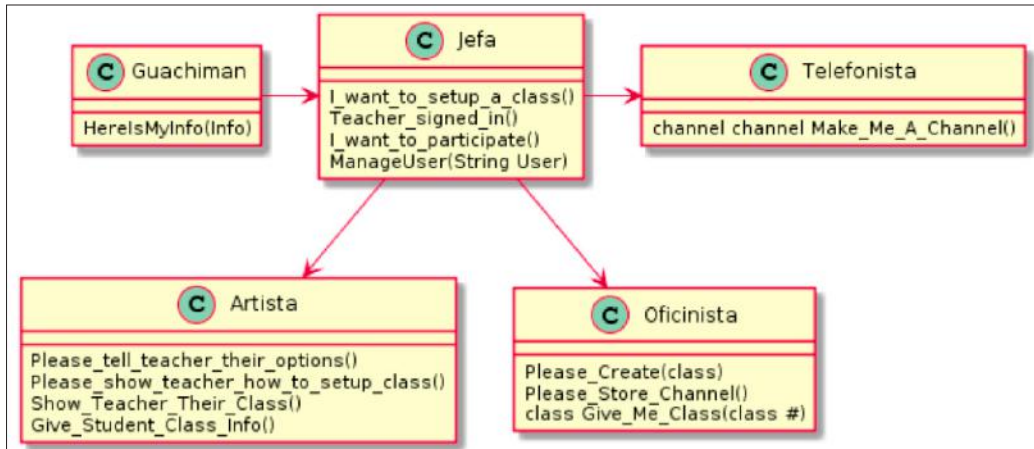


Figure 2. Example class diagram

4. Proposed analysis and design workflow

In this section, a simplified form of Responsibility-Driven Design is shown as a way for engineers to relate to software modules. For example, as a software engineer, you should try to describe how your software will work from the perspective of people doing the work, with the caveat that each person may do only one thing and must do it well. Put another way: write a play. A main character must be chosen, and conflict is needed (Dorf, 2018). In the world of software engineering, the main character is likely the human the software is being written for, and the conflict is what the main character is missing when the software does not exist. Developers must decide what roles are needed to resolve this conflict and the characters are given a significant problem to solve immediately (Dorf, 2018). Human personalities are given to the software modules. At this point, a beginning point is determined, and the engineering analysis comes from the story via actions and speech. Responsibility-Driven Design coupled with plays produces an analysis that is easily communicated to all stakeholders.

When the play is finished, it is then converted to a UML sequence diagram. Strict UML rules should not be enforced as the goal is to arrive at a candidate architecture for the software system. When the sequence diagram is complete, a UML class diagram can be made. Once again, strict UML rules should not be enforced. At this point, a candidate design which includes identified classes, associations, and method names is ready. An example of a play as well as related sequence and class diagrams are included in the appendices.

5. Results

To determine if this approach has merit, software design projects that were assigned to graduate students at the University of St. Thomas were analyzed. The Software Engineering beginning class has been consistently organized for the past three years. Students were required to form teams of two or three persons and design a major software project. Students were allowed to select the theme of their own projects, but in general students were guided towards projects where the user interface was a prominent part of the application. Some example projects include a WhatsApp-like application which translates texts to the native language of the receiver, classroom management applications, games, and medical-patient management systems.

In the first year studied (2015), the pre-play, students were asked to generate two-column use cases from user stories and then derive a design. Students generally had no trouble with the initial use case, which showed user and system interactions. These described “the user does this,” “the system does that” type interaction. However, at this time many students were unable to identify the classes required to build a system. De-constructing the system into smaller objects was for many a frustrating task.

When assessing team progress, it was apparent that generally only one student in the group understood how to undertake this task adequately. This problem was reflected through summative assessment where nearly 50 percent of the students were unable to correctly create multiple two-column use cases, and then perform an analysis to derive required UML diagrams. Also, nearly 25 percent of the students who had created correctly two-column use cases and adequately identified classes were unable to properly suggest functions or methods within those classes. Informally, students also indicated frustration with this approach.

In mid-2016 performance, style plays were introduced as a method of analysis, and it became evident that the level of participation in the group activity rose dramatically. Performance style plays solved a significant problem facing the students the partitioning of the system object.

Students had less trouble identifying classes. Resolution of this difficulty was helped through the suggestion of characters with specialized skills for the play. Students now could envision a collection of specialists performing the tasks required for the system to operate. During the pre-play, it was difficult to envision how to divide up the work of the system. The post-play, which provided suggested characters by assigning tasks, became very practical and was no longer perceived as impossible.

Students also no longer had trouble identifying the methods required of each class, as methods were built upon the dialog between the characters in the play.

All members of the team took part in the creation of the play, and the post-play summative assessment rose to nearly 80 percent success. Thirty-nine final exams from two sections of pre-play classes and 119 final-exams from four sections of post-play classes were reviewed. Though the numbers of reviewed pre-play and post-play exams differed, the success percentages were consistent among classes. Additionally, post-play students who were not wholly successful were also not completely lost. In general, their issues were not severe. For example, “methods” might show up in the wrong class or “methods” might be missing. With a little bit more practice, these students could master this topic.

Table 3. *Successful projects*

Period	Value
Pre-play success	50%
Post-play success	80%

6. Conclusion

In this paper, a new approach to the analysis and design workflows is presented with the goal of avoiding a complicated software. Terminology and characteristics of a complicated software are provided. How to creatively perform the software engineering analysis and design workflows by writing plays inspired by “Responsibility-Driven Design” is shown. Information on creating UML sequence and UML class diagrams is given. Moreover, summative assessment is used as a measure of overall success and failure of the approach. Further research is warranted to analyze the most specific issues students had pre-play and how the performance style play could solve those issues. In addition, formal evaluation of large programming projects should also be done to verify good design quality, and good programming practice is necessary.

References

- Army, U. (2015). *Fm 6-0 commander and staff organization and operations*. Washington.
- Banker, R. D., Datar, S. M., Kemerer, C. F., & Zweig, D. (1993, November). Software complexity and maintenance costs. *Commun. ACM*, *36*(11), 81–94. DOI: 10.1145/163359.163375
- Behe, M. J. (2009). Irreducible complexity: Obstacle to darwinian evolution. *Philosophy of biology: An Anthology*, *32*, 427.

- Dorf, J. (2018). *Playwriting 101 how to write a play*. Retrieved from <http://www.playwriting101.com>
- Dorin, M. (2018). Coding for inspections and reviews.
- Foote, B., & Yoder, J. (1997). Big ball of mud. *Pattern languages of program design*, 4, 654-692.
- Hall, R. (2012). *Writing your first play*. Focal Press.
- Larman, C., Kruchten, P., & Bittner, K. (2001). How to fail with the rational unified process: Seven steps to pain and suffering. *Valtech Technologies & Rational Software*.
- Rosenbloom, A. (2018). A simple MVC framework for web development courses. In *Proceedings of the 23rd western canadian conference on computing education* (pp. 13:1-13:3). New York, NY, USA: ACM. DOI:10.1145/3209635.3209637
- Smith, R. (2010). The long history of gaming in military training. *Simulation & Gaming*, 41(1),6-19.
- Victor, W. (2009). *Creative writing now, how to write a play*. Retrieved from <https://www.creative-writing-now.com/how-to-write-a-play.html> (Accessed: 2018-08-11)
- Wirfs-Brock, R., & Wilkerson, B. (1989). Object-oriented design: A responsibility-driven approach. In *ACM sigplan notices* (Vol. 24, pp. 71-75).

BENEFICIOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA PARA LA GESTIÓN DE LAS OPERACIONES MINERAS

Walter Schmidt Felsch Junior
walter.felsch@csn.com.br
Companhia Siderúrgica Nacional, Minas Gerais, Brasil

Carlos Enrique Arroyo Ortiz
carroyo@ufop.edu.br
Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil

Valdeis de Souza Oliveira / Pablo Rodrigo Vieira da Cunha / Éder Flávio de Araújo Costa
valdeis.oliveira@csn.com.br / pablo.cunha@csn.com.br / eder.costa@csn.com.br
Companhia Siderúrgica Nacional, Minas Gerais, Brasil

Resumen

Este trabajo presenta los beneficios del uso de la telemetría en la gestión de la operación de una mina a cielo abierto de alta producción localizada en el estado de Minas Gerais, Brasil. Se utilizó el sistema de telemetría embarcada en los camiones Caterpillar denominado Sistema de Monitoreo de Señales Vitales (SMSV), que monitorea los camiones a través de señales de dispositivos de entrada (sensores y conmutadores) proporcionando alerta de acción a través de mensajes para el operador, utilizando un visor en la cabina. Los procesos que serán objeto de control son: suministro de combustible, desbalance de cargas, condiciones de vías de acceso y temperatura del sistema de refrigeración de los frenos. Se desarrolló una interfaz con el sistema de gestión de flotas Intellimine (Modular Mining System) para la gestión de las operaciones mineras. Se implementó un sistema que identifica el tipo del problema generado y los medios más eficientes para su resolución y localización de las anomalías en tiempo real.

Palabras clave: telemetría, minería, gestión, equipo, reducción de costos

Abstract

Benefits of implementing a telemetry system for mining operations management

This research presents the benefits of using telemetry in the operations management of a high-production open-pit mine located in the state of Minas Gerais, Brazil. Caterpillar's telemetry systems called Vital Information Monitoring System (VIMS) were used to monitor trucks via input device signals (sensors and switches), providing action alert messages for the operator through a visor in the cockpit. The processes that will be subject to control are: fuel supply, load imbalance, access conditions, and temperature of the brake cooling system. An interface was developed with the IntelliMine (Modular Mining Systems) fleet management system for mining operations management. A system that identifies the type of problem was implemented, as well as the most efficient means for its resolution and localization in real time.

Keywords: telemetry, mining, management, equipment, cost reduction

1. Introducción

En la actualidad los procesos productivos vienen progresivamente siendo optimizados, auxiliados por la electrónica embarcada¹, la informática y los sistemas de comunicación, todo lo cual permite captar datos en tiempo real y, a partir de ellos, tomar decisiones más eficaces y con mayor conocimiento técnico.

Frente a la alta variabilidad en los precios de los metales, se ha vuelto imprescindible implementar sistemas que permitan aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos, reducir costos operacionales; en suma, mantener la competitividad de las empresas mineras.

Ante esta realidad, las empresas requieren incorporar como valores inherentes: competencia, creatividad, flexibilidad, agilidad, cultura de cambio y trabajo en equipo; solo así podrán mantenerse en un mercado altamente competitivo (Kardec y Nascif, 2009).

Es necesario aplicar nuevas tecnologías en la gestión de operaciones mineras, como la telemetría, a fin de que los datos recolectados puedan transformarse en información vital para mejorar los aspectos de seguridad, eficiencia y principalmente costos operacionales, ya que se reduce el margen para cometer errores e improvisar.

Lewis y Steinberg (2001) estudiaron el problema del mantenimiento de los equipos mineros en la era de la información y de su integración pues, según ellos, la gestión y monitoreo remotos permitirían reducir los costos de mantenimiento y a su vez aumentar la productividad, debido a la mayor disponibilidad física de los equipos.

El concepto de telemetría puede ser definido como la transferencia y utilización de datos originados en una red remota, posibilitando monitorear, medir y controlar las operaciones de los equipos. La comunicación puede realizarse a través de una red fija o inalámbrica. Para su implantación es necesario que existan sensores específicos correctamente instalados y personas capacitadas para analizar y ejecutar rutinas del sistema.

Existen tres aspectos tecnológicos que muestran la evolución de la telemetría:

- Tecnología de sensores, cuya característica es la captación de informaciones.
- Procesamiento y almacenamiento de la información, que mejora debido al uso de microprocesadores y memoria de gran capacidad.
- La logística para el procesamiento de la información, desde el origen al destino final.

1 Se refiere a equipos electrónicos a bordo de vehículos que utilizan circuitos integrados con funciones de sensorización y conectividad a la vez.

De acuerdo con Knights y Daneshmend (2000), para potenciar el beneficio del uso de estas tecnologías, la industria minera debe estandarizar los datos y los protocolos de integración, lo que viabilizará el flujo de información en tiempo real, favoreciendo la toma de decisiones a nivel gerencial.

Los eventos de baja productividad y altos índices de mantenimiento de la flota de transporte son producto de varios factores. Se pueden mencionar principalmente los siguientes:

- Cargas con volumen por debajo de la capacidad de transporte.
- Condiciones críticas en el perfil de las vías, como desniveles, radios de curvatura elevados y pendientes inadecuadas.
- Límites de velocidad incompatibles en determinados tramos.
- Operaciones fuera de estándares establecidos, como cambios excesivos en el sistema de transmisión y utilización inadecuada del sistema de frenado.

Otro punto de gran importancia a considerar es la seguridad de las operaciones de mina. Las vías con perfiles acentuados o pendientes superiores al 10 %, poseen mayor riesgo en relación con la seguridad debido al sobrecalentamiento del sistema de refrigeración de los frenos y la consecuente pérdida de control.

La geometría de las vías de acceso debe englobar aspectos estructurales, funcionales y planos de mantenimiento, como han señalado Thompson y Visser (1997, 2000, 2003, 2006). Los costos de diseño y construcción de los accesos representan una pequeña parte comparada con los costos de mantenimiento y adecuación como los sistemas de drenaje y las inclinaciones proyectadas.

De acuerdo con Tannant y Regensburg (2001), el análisis económico en proyectos de construcción de vías de acceso es complejo pues no solo se debe tener en consideración el costo de construcción, sino también los costos de ciclo de vida completo, como:

- Costo de construcción de las vías de acceso.
- Impacto en la productividad de la flota y el costo operativo.
- Costos de operación y mantenimiento de equipos adicionales.
- Flujo de caja.

Kardec y Dorigo (2009) afirman que los responsables del mantenimiento deben garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los activos para atender el plan de producción o prestación de servicios con seguridad, así como para la preservación del medio ambiente y el manejo de costos adecuados.

Para Cochefski (2011), el gerenciamiento automatizado del combustible puede resultar en ahorros significativos a las empresas, así como también en el aumento de la utilización de la flota de transporte, debido a la reducción de procesos de gestión manual, ya sea por asignación de equipos o lanzamiento manual de las informaciones en hojas de control.

Por lo expuesto, el uso de la tecnología de gestión de procesos en la minería con aplicación de telemetría es evidentemente beneficioso, así como también lo es la consolidación de la información generada y su facilidad de acceso, lo que permite agilidad en la toma de decisiones.

2. Implementación del sistema de telemetría

El monitoreo de equipos a través de telemetría en la minería surgió debido a la carencia de procesos automáticos, a la inexistencia de controles (combustible), la calidad de vías y problemas con la operación de equipos por fuera de los estándares establecidos por los fabricantes. Estas condiciones pueden ocasionar fallas prematuras en componentes, lo que impacta directamente en el rendimiento durante su vida útil, perjudicando así su productividad, calidad y, principalmente, lo que fue programado por la empresa. Se identificaron los siguientes problemas en las operaciones y mantenimiento a considerar en la implementación:

Problemas de operación de mina:

- Frecuencia de abastecimiento con bajo volumen de combustible diésel.
- Control inexistente de las condiciones de las vías de acceso.
- Cargas transportadas en posición desbalanceada.
- Fallas en la comunicación entre los equipos.
- Falta de concentración de la información.

Problemas de mantenimiento de mina:

- Alto número de eventos de sobrecalentamiento del sistema de refrigeración de los frenos.
- Daños en el chasis y desgastes prematuros en neumáticos.
- Exceso de mantenimiento no programado.
- Fallas prematuras en cilindros y suspensiones.
- Fallas reincidentes por no existir detección de causa raíz.

El monitoreo comienza con la recolección de los datos recibidos por el Sistema de Monitoreo de Señales Vitales (SMSV), tecnología electrónica embarcada en los camiones mineros Caterpillar que es responsable del monitoreo avanzado y el diagnóstico, y que tiene como objetivo evaluar y gerenciar la “salud” de los equipos y su rendimiento.

El SMSV monitorea el equipo a través de señales de dispositivos de entrada (sensores y conmutadores) y proporciona alertas de acción a través de mensajes para el operador, utilizando un visor en la cabina (*advisor*). También tiene como función almacenar datos y registrar las condiciones del equipo para que se realicen el seguimiento y diagnósticos de problemas. La figura 1 ilustra el flujo operativo propuesto en el trabajo.

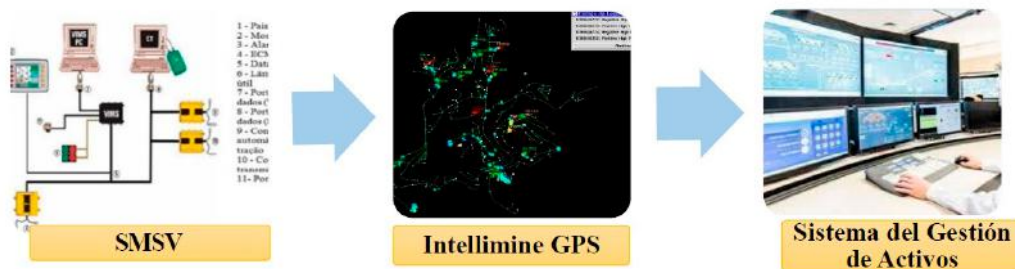


Figura 1. Corriente de información y sistemas utilizados para la gestión de procesos

Elaboración propia

Gracias a la interacción con el sistema Intellimine, responsable del direccionamiento de los equipos de producción de la mina, y el SMSV, fue posible establecer una interfaz que permite detectar problemas e identificar su posición geográfica. Estas informaciones son transferidas a una central de control que monitorea los eventos y las dirige a los gestores responsables del mantenimiento y operación para el análisis y resolución de los problemas identificados.

Los principales procesos que serán monitoreados en este trabajo son:

- Procesos operativos: abastecimiento, condiciones de vías de acceso y centralización de las cargas transportadas.
- Mantenimiento: temperatura del aceite de refrigeración de los frenos.

2.1 Control de abastecimiento

Son tres las opciones para el control del abastecimiento en los equipos de mina:

- Control de abastecimiento manual (vía operadores de equipos): el operador identifica la necesidad de abastecimiento y solicita liberación para desplazamiento al puesto de combustible.
- Control de abastecimiento automático (vía control de combustible): el sistema de despacho utiliza una lógica de decrecimiento de combustible a través de la inserción del consumo medio (litros/hora) y del número de horas operadas por cada equipo.
- Control de abastecimiento *online* (vía telemetría): El sistema de despacho realiza la lectura automática de la red CAN (Controller Area Network) del equipo; extrae en tiempo real la información de volumen de diésel y realiza la asignación del equipo al local de abastecimiento.

El objetivo fue reducir los costos operacionales a través de la reducción de la frecuencia de abasto de los equipos y la reducción de desplazamientos y colas en el puesto de combustible, permitiendo un aumento de la utilización efectiva de la flota.

El análisis consistió en migrar del control de abastecimiento automático al *online*, que utiliza los sistemas SMSV e Intellimine. Fue posible acompañar en tiempo real los niveles de consumo de combustible por los técnicos directamente en la sala de control. La figura 2 muestra la interfaz gráfica que acompaña el consumo y direcciona los equipos al puesto de combustible.

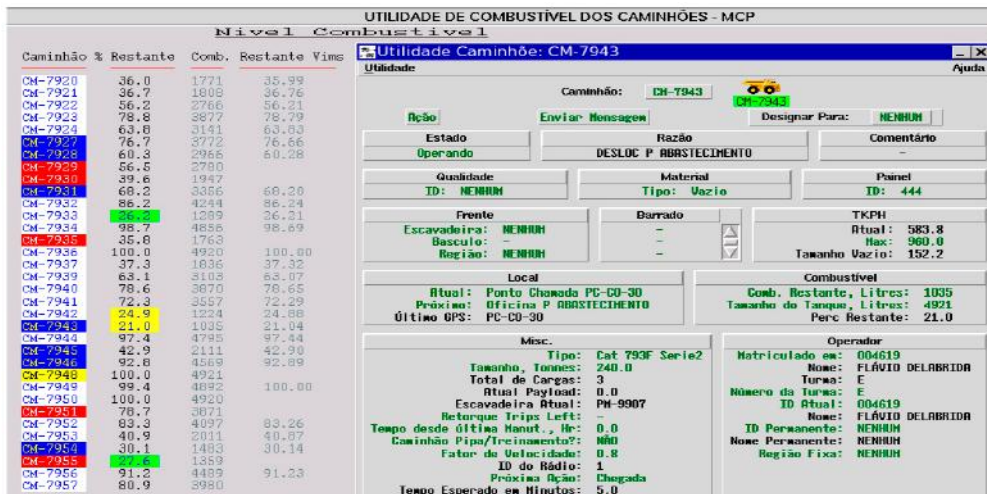


Figura 2. Interfaz de seguimiento en línea del volumen de diésel de los equipos

Fuente: pantalla capturada en sala de monitoreo

Después de cuatro meses de implementado este sistema, se observaron mejoras significativas en relación con el aumento de volumen medio abastecido de la flota, además de la reducción de la variabilidad del muestreo en el abastecimiento de combustible. También fue posible crear un indicador de rendimiento denominado “volumen de abastecimiento”, indicador de mucha utilidad para el control gerencial mensual.

2.2 Monitoreo de las vías de acceso por la herramienta RAC

Este monitoreo tiene como finalidad cuidar la “salud” de los equipos, es decir, evitar que componentes como neumáticos, suspensión, cilindros y chasis de los camiones queden fuera de servicio debido a las malas condiciones de las vías, y que cumplan con la vida útil prevista por los fabricantes.

El RAC (Road Analysis Control) es una tecnología de información a bordo que forma parte del SMSV. Fue diseñado para medir la calidad de las vías pues informa en tiempo real y de forma continua las condiciones de las vías, permitiendo identificar puntos o locales perjudiciales para los ciclos productivos y los componentes de mantenimiento. Por medio de un computador a bordo, situado en la cabina de los equipos, dos tipos de eventos del RAC avisan al operador sobre trechos de las vías que requieren cuidado, tanto del operador del camión para reducir la velocidad, como de los responsables de la infraestructura de vías que accionan a los equipos de apoyo, como tractores y motoniveladoras para el mantenimiento de las áreas problemáticas.

Los eventos RAC son generados por la variación de presión en la suspensión de cada rueda, en donde los sensores miden los esfuerzos de presión interna, permitiendo caracterizar la condición real de las vías. El sistema recoge datos de la variación de presión en cada rueda diez veces por segundo y determina tres tipos de eventos de acuerdo con la presión de cada una: RACK (diferencia de presiones diagonales), PICTH (diferencia de presiones entre la suspensión delantera y traseras) y BIAS (diferencia de presión lateral entre la suspensión delantera y traseras).

Al integrar los SMSV e Intellimine fue posible visualizar en tiempo real los lugares donde ocurren los eventos RACK, PITCH y BIAS, y dar respuestas rápidas para corregir los puntos críticos de las vías, posibilitando operaciones más seguras tanto de los equipos como de las personas. La figura 3 muestra los puntos críticos producto del monitoreo con el sistema.

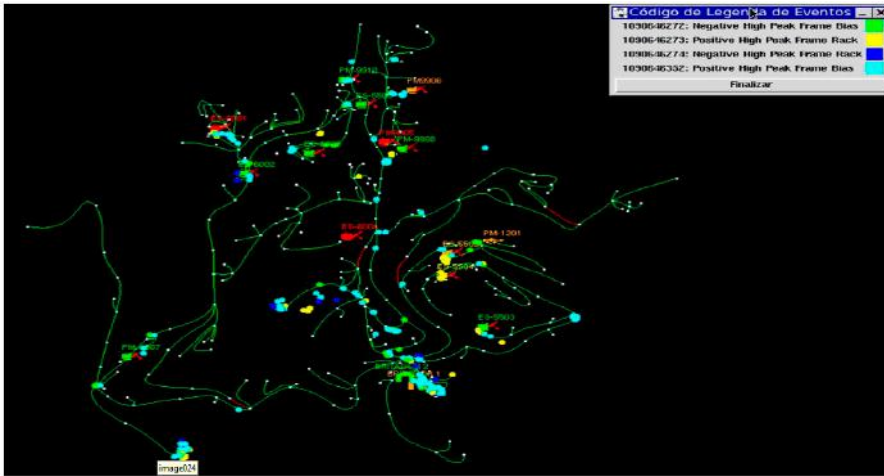


Figura 3. Mapa de la mina destacando los eventos monitoreados por el sistema RAC

Fuente: pantalla capturada en sala de monitoreo

La variación de presión y temperatura fuera de los límites puede causar daños a los neumáticos en su estructura y, consecuentemente, una reducción en su vida útil. Esto se debe a varios factores, como: alto número de ciclos, variación de velocidad y, principalmente, la calidad de las vías en las que transitan. Cuando uno de estos parámetros excede los límites podemos tener lo que llamamos desbordamiento de TKPH [(tonelada x (kilómetro/hora))], donde los neumáticos ya están por encima de su punto máximo de operación y pueden producirse daños irreparables. Frente a esta situación lo ideal es verificar que estos elementos operen dentro de los límites permitidos. Con la implementación de este sistema fue posible caracterizar depresiones en las vías (figura 4) que generan aumento de TKPH y elevan las condiciones de riesgo en los neumáticos.



Figura 4. Depresiones en la vía

Fuente: archivo fotográfico de la mina

Con este enfoque de gestión es posible intervenir en el proceso de manera preventiva, actuando en los puntos de riesgo que pueden ocasionar fallas funcionales. La mejora en las condiciones de las vías de acceso y plazas de carguío redundan en un mejor desempeño de indicadores de producción tales como: velocidad media, tiempo de ciclo y tiempo de maniobra.

2.3 Monitoreo del cargamento por la herramienta RAC

Este monitoreo permite detectar fallas en el carguío de camiones. La carga desbalanceada (figura 5) puede producir daños al chasis del equipo y sobrecarga en la suspensión y neumáticos del lado de mayor concentración de material. A medida que el equipo se mueve es sometido a fuerzas dinámicas que se agravan por las malas condiciones de las vías, generando aún más fuerza de torsión sobre la estructura del camión.

A través de las alarmas de BIAS (fuerzas transversales) de la herramienta RAC, es posible identificar cargas desbalanceadas evidenciándolas por la diferencia de presión transversal. Los analistas de flota verificaron que las alarmas de BIAS pueden ser ocasionadas por cargas desbalanceadas y no solo por condiciones impropias de las vías de acceso.



Figura 5. Carga desbalanceada

Fuente: archivo fotográfico de la mina

Este hecho contribuye considerablemente a la fatiga del chasis y los pistones hidráulicos debido a la operación excesiva, agravada aún más en el momento del basculamiento del material, donde el sistema sobrecargado sufre mayor esfuerzo para levantar la tolva del camión. Al identificar este aspecto se realizaron entrenamientos específicos con los operadores de carguío con el propósito de brindar instrucción y orientación para mantener las condiciones de operación más seguras y correctas.

2.4 Control de eventos de sobrecalentamiento del aceite de refrigeración de los frenos

A través del SMSV y del sistema Intellimine, también fue posible monitorear y controlar la temperatura del fluido de refrigeración del sistema de frenos de los camiones utilizados en la mina.

Primero se realizó un análisis del perfil de las rampas y se estratificaron según su inclinación. La localización de la rampa central y la variación de inclinaciones se muestran en la figura 6.

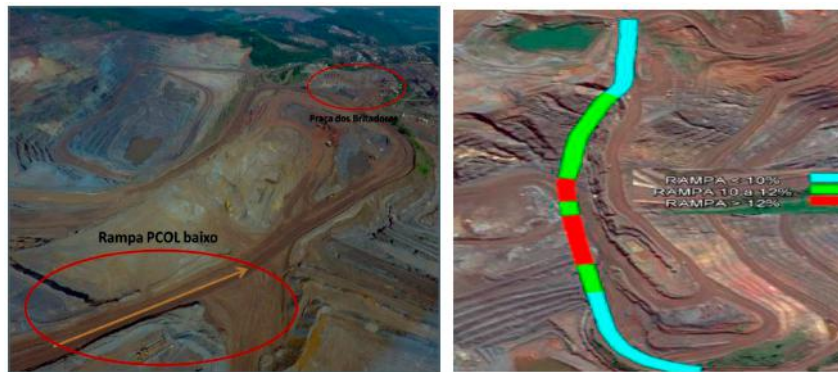


Figura 6. Rampa central de la mina con estratificación de inclinaciones

Fuente: archivo fotográfico de la mina

Además de las inclinaciones fuera de especificación por la planificación, se identificaron conductas operativas impropias como exceso de velocidad y utilización de marchas inadecuadas.

La figura 7 muestra la variación de temperatura de sistema de frenos antes y después de la realización de este trabajo. Podemos identificar un gran número de eventos de recalentamiento del fluido de refrigeración principalmente en la rampa central y en la rampa de acceso a la pila de estéril. Estos eventos generan un desgaste prematuro del sistema de frenado y pueden impactar severamente en la seguridad de las operaciones realizadas.

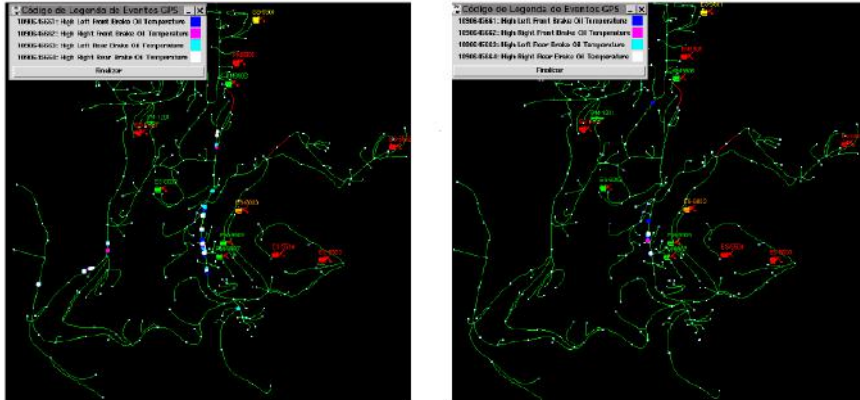


Figura 7. Eventos de recalentamiento del fluido de refrigeración de los frenos

Fuente: pantallas capturadas en sala de monitoreo

Como resultado del análisis de la información se propusieron los siguientes planes de acción para el tratamiento y reducción de los eventos de recalentamiento del fluido de refrigeración de los frenos:

- Análisis topográfico de todos los accesos a la mina.
- Mantenimiento de los accesos identificados con inclinaciones superiores al 10 %.
- Entrenamiento teórico y práctico de los operadores de equipos de transporte.
- Revisión de la señalización de la mina con foco en las velocidades permitidas y marchas adecuadas en cada tramo.
- Monitoreo semanal de los eventos de recalentamiento de frenos con foco en los operadores de equipos con penalizaciones administrativas en caso de reincidencias.

3. Evaluación de resultados y beneficios de la implementación

A partir de estos estudios fue posible constatar varios resultados relacionados con mejoras operacionales y retornos financieros. Entre ellos destacan:

- a) Reducción de costos de mantenimiento debido al aumento de la vida útil de los componentes (neumáticos, chasis y suspensión). Aún no se han identificado fallas prematuras en estos ítems después de la implantación del sistema.
- b) Reducción del consumo de combustible debido a la reducción de frenados y retoma de fuerza del equipo gracias a las mejores condiciones de las vías.

- c) Aumento de 15,6 % en el volumen medio de diésel abastecido en la flota de transporte, comparando dos periodos específicos:

Periodo 1: entre enero y mayo del 2017 (antes de la implantación del trabajo).

Periodo 2: entre junio y diciembre del 2017.

- d) La figura 8 muestra la evolución de los resultados del volumen medio y la desviación estándar de los abastecimientos.

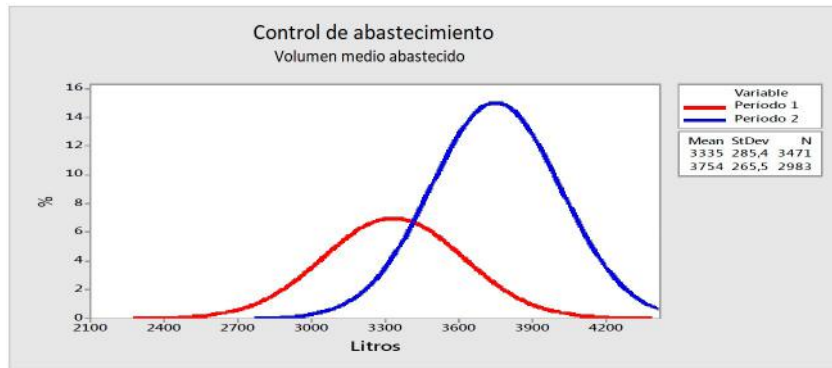


Figura 8. Análisis comparativo del volumen medio abastecido en los dos periodos analizados

Elaboración propia

- e) Reducción en 21,8 % del número medio mensual de abastecimientos por equipo de transporte (figura 9).

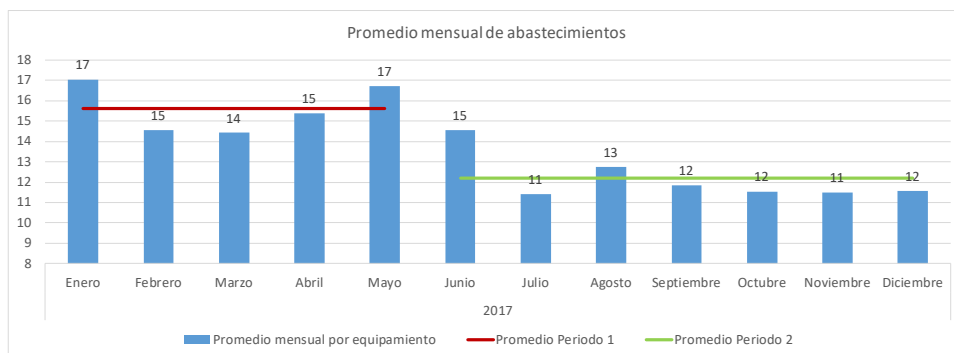


Figura 9. Promedio mensual de eventos de abastecimiento de los camiones

Elaboración propia

- f) Aumento del 0,33 % en la utilización efectiva de la flota de transporte.
- g) Priorización en el direccionamiento de equipos de infraestructura para el mantenimiento de los accesos de acuerdo con su grado crítico.
- i) Reducción de eventos de TKPH agravados por irregularidades en vías, garantizando el desempeño óptimo de los neumáticos, como se muestra en la figura 10.

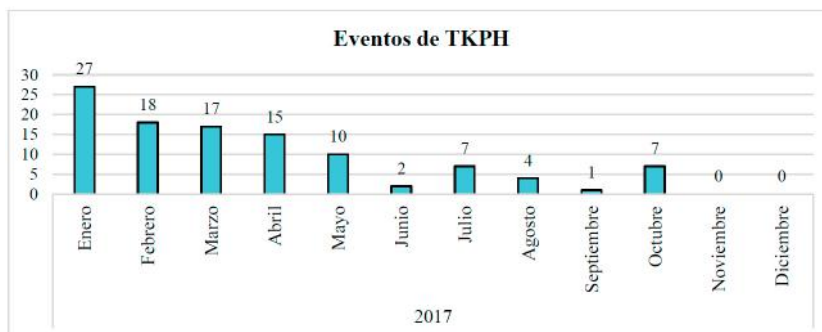


Figura 10. Evolución de los eventos de TKPH

Elaboración propia

- i) Mejora de los indicadores de rendimiento operacional (productividad de transporte, velocidad media y tiempos de ciclo), como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis operacional del tramo CN-Machacadora

Análisis operacional - trecho mina-chancado			
	Periodo 1	Periodo 2	Δ
Productividad efectiva (t/h)	609,4	615,8	1,1 %
Tiempo promedio de ciclo (minutos)	12,6	12,3	-2,2 %
Velocidad media (km/h)	20,84	21,13	1,4 %

Elaboración propia

j) Reducción del número de eventos RACK, PITCH y BIAS (figura 11).

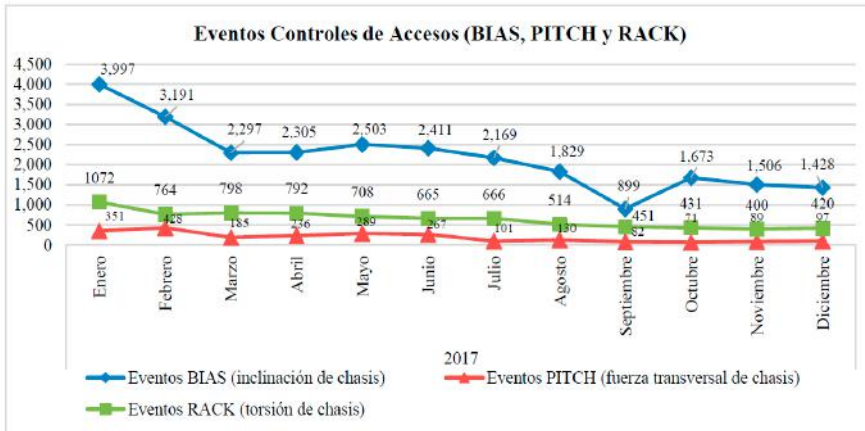


Figura 11. Evolución de los eventos RACK, PITCH y BIAS

Elaboración propia

k) Reducción del 78 % en el número de eventos de recalentamiento de fluido de freno en el perfil descendente cargado (figura 12).

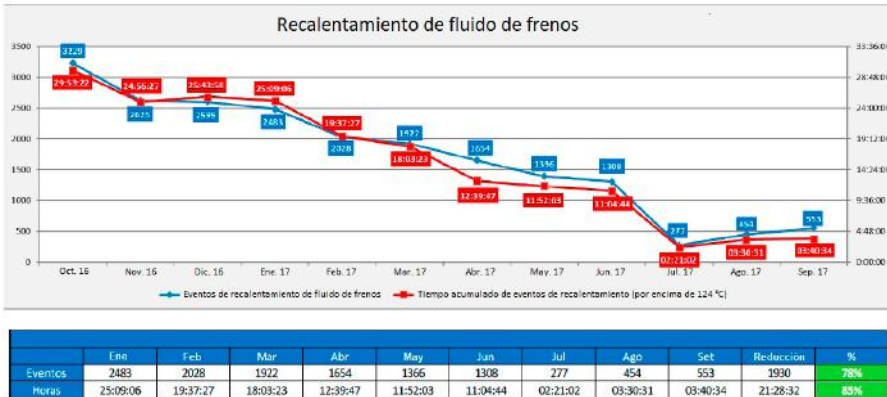


Figura 12. Comparativo de eventos de sobrecalentamiento del aceite de refrigeración de los frenos

Elaboración propia

La utilización de la telemetría en los procesos operativos posibilita un mejor gerenciamiento de las actividades en la minería. El trabajo tuvo resultados positivos en relación con equipos con mayor control en el proceso de abastecimiento y vías de acceso debidamente mantenidas, que conducen a operaciones más seguras y productivas, con menor desgaste de la

estructura del camión, generando mayor confort y seguridad al operador, así como también un aumento en la eficiencia del proceso productivo en las operaciones de minado, y una reducción de los costos del orden del 3,3 %.

4. Consideraciones finales

En función del análisis de los resultados del trabajo, es posible mostrar la importancia de la implantación de la telemetría para la gestión de procesos operacionales y el control de mantenimiento en la minería. Las acciones tomadas proporcionan un aumento en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, contribuyendo a la sostenibilidad del negocio. El monitoreo de los procesos es un factor determinante para el cambio cultural vivido por los involucrados en la cadena de producción, lo que significa que la unión del uso de la tecnología y factor humano son los ingredientes clave para la conquista de los resultados.

Se justifica así la necesidad de utilizar nuevas tecnologías de información, que tienen por objeto identificar, entender, evitar o minimizar los puntos débiles y posibles problemas que están causando resultados no deseados en una organización. Con los datos obtenidos a través de la telemetría es posible que haya una gestión eficiente, donde los recursos serán optimizados y utilizados con mayor eficacia, mejorando significativamente el rendimiento de los equipos y del proceso productivo.

Referencias

- Cochefski, P. J. (2011). Fuel management: automated services can be a boon to the bottom line for truck fleets fueling facilities. *Bulk Transporter*, 74(5).
- Kardec, A., y Dorigo, L. (2009). *Manutenção orientada para resultados*. Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Kardec, A., y Nascif, J. (2009). *Manutenção: função estratégica* (3.ª edición). Rio de Janeiro: Qualitymark.
- Knights, P. F., y Daneshmend, L. K. (2000). Open systems standards for computing in the mining industry. *CIM bulletin*, 89-92.
- Lewis, M. W., y Steinberg, L. (2001). Maintenance of mobile mine equipment in the information age. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(4), 264-274.
- Tannant, D., y Regensburg, B. (2001). *Guidelines for mine haul road design*. Alberta: School of Mining and Petroleum Engineering. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Alberta.

- Thompson, R., y Visser, A. (1997). A mechanistic structural design procedure for surface mine haul roads. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 11(3), 121-128.
- Thompson, R., y Visser, A. (2000). The functional design of surface mine haul roads. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* 100(3), 169-180.
- Thompson, R., y Visser, A. (2003). Mine haul road maintenance management systems. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* 103(5), 303-312.
- Thompson, R. J., y Visser, A. (2006). The impact of rolling resistance on fuel, speed and costs. *Continuous improvement case study*, 2(1), 68-75.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL PARA EL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS (VRP)

Juan Manuel Machuca de Pina
jmachuca@ulima.edu.pe
Universidad de Lima. Lima, Perú

Michael Dorin
mike.dorin@stthomas.edu
University of St. Thomas, Minnesota. Estados Unidos

Alicia Isabel García Yi
agarcyai@ulima.edu.pe
Universidad de Lima. Lima, Perú

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo proponer un criterio cuantitativo para evaluar la viabilidad de implementar soluciones basadas en programación lineal para resolver el problema de ruteo de vehículos (VRP). Se utilizó un diseño experimental para medir el tiempo relativo de solución con un modelo de programación lineal propuesto. La muestra utilizada fue aleatoria utilizando tres escenarios de dispersión de puntos de entrega: poco dispersos, dispersos y muy dispersos. Se utilizó un *solver* de programación lineal con el objetivo de determinar el tiempo y las iteraciones necesarias para encontrar la solución del modelo. Como resultado se encontró el tiempo de solución en función de la cantidad de puntos de entrega, la cantidad de iteraciones para los escenarios propuestos y se pronostica el tiempo necesario para resolver el problema utilizando el modelo propuesto. Se concluye con una propuesta de cantidad de puntos viables para ser resueltos por programación lineal.

Palabras clave: programación lineal, complejidad, ruteo, vehículos, puntos de entrega

Abstract

Experimental evaluation of a linear programming model for solving the vehicle routing problem (VRP)

This article aims to propose a quantitative criterion to evaluate the feasibility of implementing solutions based on linear programming for solving the vehicle routing problem (VRP). An experimental design was used to measure the relative solution time with a proposed linear programming model. The sample was randomized employing three dispersion scenarios of the delivery points: poorly scattered, scattered and very scattered. A linear programming solver was used to determine the time and iterations necessary for solving the model. As a result, the solution time was found in terms of the number of delivery points and the number of iterations for the proposed scenarios, and the time required to solve the problem was predicted using the proposed model. The research concludes with a proposal of the number of viable points to be solved by linear programming.

Keywords: linear programming, complexity, routing, vehicles, delivery points

1. Introducción

Las empresas enfrentan diariamente el problema de diseñar rutas para el reparto vehicular de mercaderías de manera más eficiente y a menor costo. A pesar de que el desarrollo tecnológico actual ofrece a los usuarios soluciones de *hardware* y *software* potentes, la práctica actual generalizada se basa en el diseño manual de rutas a cargo del personal de logística u operaciones, más que en soluciones automatizadas soportadas por modelos matemáticos o heurísticos.

La ruta diseñada mediante labor manual es menos o más eficiente en la medida en que el trabajador adquiere experiencia en el puesto y, aún así, este diseño tiene un alto riesgo de error. Los modelos matemáticos de programación lineal son una alternativa de automatización del diseño. Sin embargo, estos modelos consumen un tiempo computacional elevado que puede superar el tiempo disponible para decidir la ruta e iniciar el reparto de mercancías. Esto genera una brecha perceptual en el diseño y la prestación del servicio computacional entre lo que los clientes esperaban y lo que perciben haber recibido del proveedor informático (Lovelock y Wirtz, 2009).

Los modelos matemáticos de programación lineal permiten la optimización restringida de los procesos empresariales. En el diseño de modelos de ruteo se pueden incluir diferentes criterios que influyen en el diseño de las rutas y en la percepción de calidad de estas soluciones. Tales variables pueden ser: el costo de transporte, el tiempo de entrega, la capacidad de carga de los vehículos, las distancias, entre otras. Sin embargo, a pesar de la evolución de los microprocesadores, estas soluciones pueden suponer tiempos demasiado elevados de procesamiento como para ser consideradas por el *software* de soporte de decisiones. En ese sentido Azzara (2010) indica que la investigación debería contribuir a mantener las transacciones eficientes y productivas.

Se conoce que en ciudades con condiciones de tránsito caótico como Lima, los habitantes pierden tiempo valorizado aproximadamente en el 25 % de sus ingresos por los problemas de transporte de la ciudad (“Limeños pierden el 25 % de sus ingresos por el tránsito vehicular”, 2017). Además están los problemas para reducir el impacto del costo de los combustibles en el costo de transporte debido a la baja incidencia del uso de gas natural (Machuca y Taquíá, 2009). Entre las empresas que requieren, para ser cada vez más competitivas, ofrecer servicios complementarios que añadan valor para sus clientes (Lovelock y Wirtz, 2009), destacan algunas, como las dedicadas al *delivery* de comida, que ofrecen atender pedidos en 30 minutos o menos, bajo la penalidad de no cobrar el pedido si llegan tarde, y otras como las dedicadas a la salud con atención médica a domicilio, que programan su itinerario de citas ofreciendo puntualidad en la atención. En los casos mencionados las pérdidas ocasionadas debido a dificultades en el transporte de los productos o a la entrega del servicio pueden ser significativas.

Obtener la ruta óptima para los vehículos permite mejorar la satisfacción del cliente, cumplir con las políticas de calidad, optimizar los costos de transporte, mejorar la productividad de las unidades de transporte y del personal asignado a éstas. Estos son factores que influyen directa o indirectamente en la economía de la empresa.

El reparto de producto es parte del servicio al cliente, sin embargo, la segmentación clásica de mercados ha puesto poca atención al impacto que esta tiene en las operaciones de distribución, generando una verdadera desconexión entre la búsqueda de formas para comprender qué quieren los clientes y el mapeo de las rutas de transporte. Los clientes tienen un paquete de expectativas holístico que se manifiesta en una jerarquía de atributos que incluyen la velocidad y continuidad en el abastecimiento (Gattorna, 2009).

El reemplazo del trabajo manual implica, la mayoría de las veces, el uso de *software* para agilizar los procesos. Pero surge una discusión sobre la complejidad del *software*. Una forma de entender la complejidad está orientada a sopesar cuán difícil es entender el código fuente de un programa por humanos. Otro concepto de complejidad se refiere a qué tan laborioso es procesar un algoritmo para una computadora promedio. Aunque en general se aprecia la capacidad de las computadoras para manejar problemas demasiado intrincados para los humanos, en muchos casos las dos áreas de complejidad están conectadas. La teoría de la complejidad computacional se utiliza para clasificar los problemas algorítmicos en función de su dificultad. Cuanto más complejo es un algoritmo, más recursos computacionales se requieren para ejecutarlo en tiempos aceptables (Dantzig, 2002). Como se describe en este artículo, el uso de modelos de optimización matemática para encontrar soluciones puede poseer ambos tipos de complejidad de la teoría computacional, tanto para los humanos como para la máquina. La notación llamada Big O se usa para describir el nivel de complejidad computacional de un algoritmo. La notación Big O describe el peor camino de un algoritmo a medida que aumenta el tamaño de los datos (Cook, 1983). Este documento no analiza todos los aspectos de la medición de la complejidad computacional, pero se conoce que los algoritmos de optimización matemática se pueden describir comúnmente como que poseen complejidad cuadrática ($O(n^2)$) o exponencial ($O(k^n)$) en función del tiempo que requieren. En pocas palabras, esto significa que el número de variables puede cambiar en una cantidad pequeña mientras el tiempo y los recursos necesarios para calcular una solución pueden aumentar drásticamente. Aunque la teoría de la complejidad computacional se difunde a nivel mundial en las universidades, su utilidad se pasa por alto o se considera difícil de aplicar.

Como se mencionó anteriormente, una decisión crucial que la empresa debe tomar al aplicar los modelos de optimización matemática es si, con base en el tamaño de sus datos, es adecuado o no seleccionar el uso de modelos heurísticos por los costos que estos generan. Un proceso de optimización debe determinar una solución en un tiempo apropiado (Dantzig, 2002). Por ejemplo, usar un algoritmo de programación lineal para la optimización no es

práctico si los recursos disponibles para el procesamiento informático no son suficientes para obtener una solución en un tiempo razonable. No tiene sentido usar un modelo de optimización, por ejemplo, para un proceso logístico, cuyo tiempo usado para el cálculo es mucho mayor que el tiempo que se ahorra en dicho proceso logístico con la solución obtenida.

2. Revisión de literatura

El diseño de rutas es conocido como el problema de ruteo de vehículos (*vehicle routing problem*, VRP). Las propuestas para resolver este problema han sido abordadas con modelos matemáticos, heurísticos y metaheurísticos aplicados al VRP y sus variantes (Arboleda-Zúñiga, López y Lozano, 2016).

El problema básico consiste en diseñar la ruta para una flota de vehículos idénticos, donde el vehículo inicia la ruta en un depósito o almacén y termina la ruta en el mismo punto de salida, seleccionando un camino, conformando un conjunto de arcos que pasan por los puntos de entrega de mercancías o bienes por los que necesariamente debe pasar el vehículo, asignándose peso o volumen de entrega sin sobrepasar la capacidad de carga (Laporte, 2009).

Las soluciones basadas en modelos matemáticos de programación lineal han sido propuestas desde hace más de 50 años, siendo la primera la de Dantzig y Ramser en 1959 (Golden, Wasil, Kelly y Chao, 1998; Laporte, 2009). La propuesta inicial ha evolucionado para resolver problemas con mayor cantidad de restricciones (Alvarez, Lerga, Serrano, y Faulin, 2017; Laporte, 2009) y también se ha especializado con propuestas de aplicaciones concentradas en la recolección de desperdicios y modelos multiobjetivo para el transporte de ayuda en crisis humanitarias ocasionadas por desastres (Han y Cueto, 2015; Tzeng, Cheng y Huang, 2007). Además se añadió el comportamiento de los conductores como uno de los factores a ser considerados para incluirse en el diseño de rutas (Alvarez, Lerga, Serrano y Faulin, 2017; Srivatsa Srinivas y Gajanand, 2017).

Diversas propuestas han abordado las diferentes limitaciones del problema original. Onut, Kamber y Altay (2014) realizaron una propuesta para minimizar el costo de transporte en flotas heterogéneas de vehículos, aplicándola a una flota de gas licuado de petróleo en Turquía para atender 13 estaciones y dos tipos de unidades de transporte. Se utilizó un modelo matemático que fue resuelto utilizando GAMS con datos reales de empresas del sector, encontrando solución al modelo propuesto en 15 minutos de procesamiento.

Alternativamente, el problema ha sido enfocado a través de heurística y metaheurística. Daza, Montoya y Narducci (2009) propusieron como solución al problema logístico de transporte en Colombia un modelo matemático basado en el algoritmo Greedy que fue probado en un problema logístico con 80 nodos. Los autores evaluaron la aplicación de metaheurística en dos fases para el enrutamiento en vehículos de capacidad limitada, encontrando que

la metaheurística halló mejores soluciones que la heurística y que, con datos reales y ficticios, la solución obtenida para el enrutamiento con 15 camiones se obtiene en un tiempo computacional inferior a un minuto.

Desde el punto de vista de aplicabilidad en el desarrollo de Sistemas de Soporte de Decisiones (DSS), la aparición de tecnologías de información de uso cotidiano hace necesario evaluar la inclusión de Google Maps API en el diseño de rutas (Alvarez, Lerga, Serrano y Faulin, 2017).

3. Metodología

Se utilizó la teoría básica de complejidad computacional para estimar si un modelo matemático de optimización puede completarse en un periodo de tiempo razonable. En la experimentación se utilizó un modelo de programación lineal para el VRP, diseñado para programar un vehículo sin consideraciones de capacidad u otro tipo de limitaciones. Por inferencia se deduce que modelos con más variables y restricciones que las incluidas en el modelo de prueba, necesariamente consumirán un mayor tiempo de procesamiento en un computador promedio. Se hizo una caracterización del comportamiento del algoritmo de solución del modelo matemático con diversos conjuntos de datos para estimar la cantidad de tiempo requerido para usar un modelo de optimización.

Para comenzar este proceso, se ejecutó el algoritmo de optimización matemática evaluando individualmente cada elemento de múltiples conjuntos de datos. Cada conjunto estuvo caracterizado por poseer elementos con diferentes cantidades de puntos y el mismo atributo de dispersión que representaron a los escenarios propuestos. Para determinar el grado de dispersión de los puntos se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. En cada escenario el conteo de variables cambió para cada elemento debido al incremento de los puntos atendidos. A pesar de ello, se esperó encontrar valores de conteo que pertenezcan a un intervalo de tiempo razonable en el que se desea que se complete la ejecución del algoritmo. Cada vez que se ejecutó el algoritmo de optimización, se registró el número de variables, el tiempo para encontrar la solución y el número de iteraciones que empleó la herramienta de *software* para resolver el modelo de programación lineal (*solver*).

Para determinar si es viable realizar una optimización matemática, se calcula una estimación de la magnitud del tiempo empleado por la herramienta de *software* para encontrar la solución óptima. Esto se hizo realizando una proyección mediante una regresión lineal simple.

Se utilizó para la evaluación una adaptación del modelo propuesto por Baldacci, Hadji-constantinou y Mingozzi (2004) para la programación del ruteo (VRP). La adaptación redujo la programación a un vehículo de capacidad limitada C , que debe entregar n paquetes, cada uno en un destino diferente, para finalmente retornar al punto de partida inicial denominado punto cero (0) con una formulación de función objetivo que buscará establecer la ruta

en la que la unidad de transporte realice el menor recorrido durante el reparto a n puntos de entrega. Se define $V = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$ como el conjunto de n puntos unidos por los arcos (i, j) por los que puede pasar el vehículo, al partir desde el punto 0. En esta formulación se define el conjunto V aumentado como $V = V \cup \{n + 1\}$ que se obtiene al duplicar el punto de partida como destino final. Se considera la distancia D_{ij} entre el punto de origen i y el punto de destino j y X_{ij} la variable binaria que define si el vehículo parte del origen i hacia el destino j utilizando el arco (i, j) .

$$\text{minimizar } \sum_{i \in V} D_{ij} X_{ij}$$

El modelo propuesto incluye la variable Y_{ij} que representa la carga con la que el vehículo viaja desde el punto de origen i hacia el punto de destino j . La variable con índices invertidos Y_{ji} calcula la capacidad disponible o no utilizada del vehículo de transporte cuando recorre el arco que se origina en el punto i con destino hacia el punto j . La primera restricción (1) permite establecer que, si un vehículo pasa por un punto de entrega, entonces dejará disponible una capacidad equivalente a la carga entregada luego de pasar por este.

$$\sum_{j \in V} (Y_{ij} - Y_{ji}) = 2q_i \quad \forall i \in V \setminus \{0\} \quad (1)$$

Se incluyó una restricción (2) que establece que el vehículo inicia el transporte en el punto de partida con capacidad utilizada igual a la carga total por entregar a todos los puntos. Se asume que el vehículo tiene capacidad suficiente para llevar toda la carga pendiente de entrega.

$$\sum_{j \in V \setminus \{0\}} Y_{0j} = \sum_{i \in V \setminus \{0\}} q_i \quad (2)$$

En coherencia con la condición de carga en el punto de partida se indica que la carga disponible o no utilizada del vehículo en el punto de partida se obtiene de la capacidad C disponible menos la capacidad Y_{ij} utilizada en el punto de partida (3).

$$\sum_{j \in V \setminus \{0\}} Y_{j0} = C - \sum_{i \in V \setminus \{0\}} q_i \quad (3)$$

El vehículo debe retornar al punto de partida luego de realizar todas las entregas, por lo que la capacidad disponible es igual a C en ese tramo (4).

$$\sum_{j \in V \setminus \{0\}} Y_{n+1,j} = C \quad (4)$$

La capacidad utilizada y la capacidad disponible del mismo vehículo solo serán calculadas cuando este transite en el tramo comprendido por el arco (i, j) que une los puntos de entrega (5).

$$Y_{ij} + Y_{ji} = CX_{ij} \quad \forall (i, j) \in V \times V / i \neq j \quad (5)$$

Existe la restricción para cada punto que, si un vehículo pasa por un punto k , debe llegar a este una sola vez y partir del mismo una única vez (6).

$$\sum_{i < k} X_{ik} + \sum_{j > k} X_{kj} = 2 \quad \forall k \in V \setminus \{0\} \quad (6)$$

4. Implementación experimental

Fueron construidos escenarios considerando dos factores: la cantidad de puntos y la dispersión de los puntos. Para la cantidad de puntos por los que debe pasar el vehículo se consideraron incrementos de 10 puntos, evaluando los valores desde 10 hasta 60 ubicaciones diferentes. Cuando se hallaron valores con cambios significativos en el tiempo de solución se realizaron incrementos de un punto, para mejorar la sensibilidad de la medición.

Los puntos fueron generados mediante números aleatorios que seguían una distribución uniforme. La matriz D_{ij} utilizada fue simétrica, asumiendo que la distancia entre dos puntos de entrega es idéntica en ambos sentidos. Se incluyeron tres escenarios de ubicación de puntos de entrega; se utilizó correlación baja, moderada y alta (Landeroy y González, 2011), que representan tres casos típicos: tránsito por toda la ciudad (dispersos, $r \approx 0,2$), concentración en zonas comerciales (poco dispersos, $r \approx 0,5$), tránsito por carretera (puntos concentrados a lo largo de un camino, $r \approx 0,9$). En la figura 1 se presenta la muestra para los tres escenarios con 40 puntos.



Figura 1. Muestra para 40 puntos

Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, se utilizó un modelo simplificado para encontrar la ruta óptima y se asumieron en todos los escenarios cargas idénticas q_i para todos los pedidos con valor igual a $\frac{C}{n}$. La capacidad utilizada para todos los escenarios fue $C_0 = 50$. Se utilizó Lingo 17 para resolver el problema y evaluar los diferentes escenarios creados. Las corridas de los modelos fueron efectuadas utilizando un CPU con procesador Core i5 de Intel con 8 Gb de memoria y sistema operativo Windows de 64 bits.

5. Resultados

Los resultados incluyen tiempo y cantidad de iteraciones utilizadas en los escenarios propuestos. La tabla 1 muestra los datos obtenidos para el escenario *Toda la ciudad*, que reportó los menores tiempos de solución en la mayor cantidad de escenarios evaluados.

Tabla 1. Iteraciones y tiempo de solución para el escenario *Toda la ciudad*

Puntos	Iteraciones	Tiempo (s)	Tiempo (hh:mm:ss)
10	557	0,19	0:00:00
20	2887	0,95	0:00:01
30	25 714	5,86	0:00:06
40	15 529	3,81	0:00:04
45	68 181 902	15 994,63	4:26:35
50	451 552 143	398 915,99	110:48:36
60	365 755 059	96 871,11	26:54:31

Elaboración propia

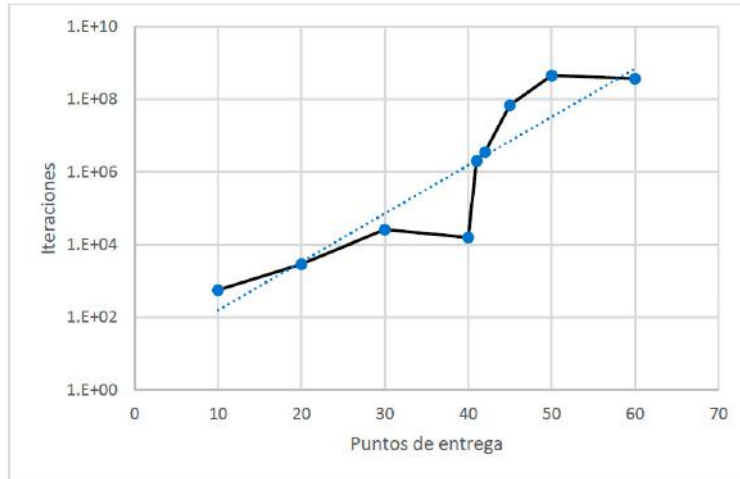


Figura 2. Iteraciones del escenario *Toda la ciudad*

Elaboración propia

La cantidad de iteraciones necesarias para encontrar la solución en cada uno de los tres escenarios evaluados muestra un crecimiento exponencial. Cuando los puntos se encuentran más cercanos (menor dispersión), el número de iteraciones necesarias para encontrar la solución óptima aumenta y, como consecuencia, el tiempo necesario también se incrementa. El escenario que reportó menor tiempo fue *Toda la ciudad*, que se caracterizó con puntos que presentaban $r \approx 0,2$. La figura 3 ilustra la cantidad de iteraciones y permite su comparación. En la tabla 2 se muestra el orden de magnitud de las iteraciones necesarias.

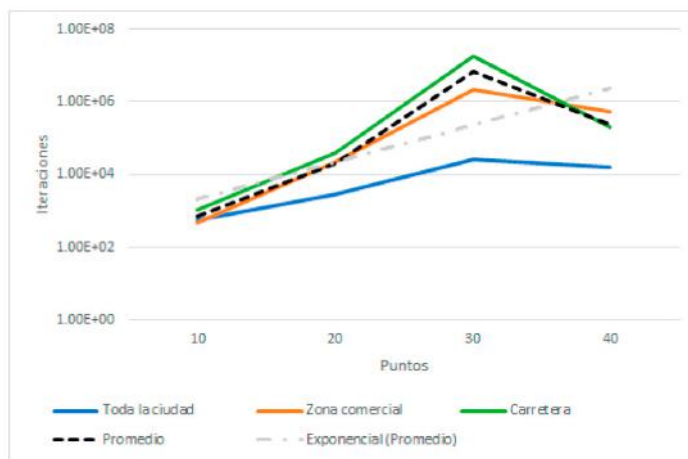


Figura 3. Comparación de la cantidad iteraciones para tres escenarios

Elaboración propia

Tabla 2. Orden de magnitud de las iteraciones necesarias para completar la solución

Puntos	Om(i)
10	3
20	3
30	4
40	4
45	8
50	9
60	9

Elaboración propia

Se encontró una relación lineal directa y significativa ($r=0,891$, $p<=0,01$) entre el número de iteraciones y el tiempo en segundos empleado por Lingo 17 para encontrar la solución óptima del modelo propuesto. La figura 4 muestra esta relación lineal.

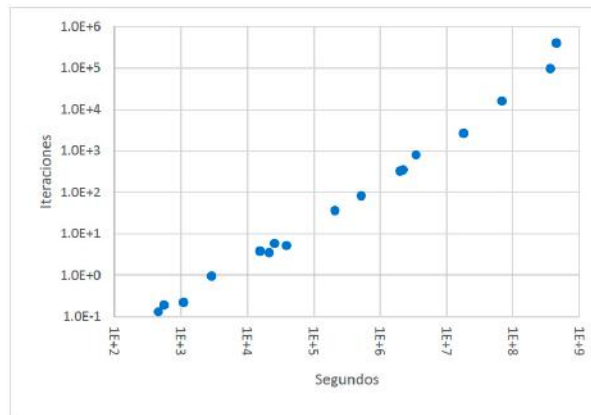


Figura 4. Cuenta de iteraciones vs tiempo de solución

Elaboración propia

Mediante regresión se puede determinar el orden de magnitud de las iteraciones y el tiempo aproximado de solución en segundos (s), en función de la cantidad n de puntos que componen la ruta, incluido el punto de partida a donde retornará la unidad una vez que haya concluido las entregas. La ecuación de predicción es $s = 0,002e^{0,3072n}$ con un valor de R^2 para la regresión de 0,796, por lo que la complejidad será exponencial ($O(k^n)$).

Para estimar el orden de magnitud de las iteraciones se puede calcular la expresión $o = \log(7,268e^{0,3062n})$ obtenida por regresión con valor $R^2=0,829$.

6. Discusión de resultados

Los resultados muestran el crecimiento exponencial ($R^2=0,829$) del número de iteraciones necesarias para encontrar la solución óptima de modelo matemático con variables mixtas y por tanto una complejidad exponencial ($O(k^n)$). Este crecimiento es congruente con el número de vértices que evalúa el método simplex y la posterior aplicación del método de bifurcación y acotamiento necesario para determinar el valor de las variables binarias.

La relación directa entre el tiempo de solución y el número de iteraciones evidencia un buen manejo de Lingo 17 de la complejidad debido a la administración en memoria de matrices poco densas que aumentaron de orden en diversos escenarios en los que los puntos de entrega se incrementaron. Esta relación lineal ($r=0,93$) evidencia que el tamaño matricial no añadió mayor complejidad al tiempo de solución.

Respecto a los resultados de interés para la implementación, se debe tomar en cuenta que las unidades de transporte son asignadas a conductores que normalmente laboran en turnos de ocho horas por regulaciones laborales y fatiga. Cuando existen múltiples conductores en la misma unidad, la jornada laboral puede ampliarse a 10 o 12 horas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2009). Esta condición determina el tiempo máximo disponible para la asignación de la ruta a un vehículo de transporte destinado a la entrega de mercancías. En el caso de que el programador de rutas necesite realizar ajustes o reasignaciones, el tiempo se reducirá a la mitad o a la tercera parte. Con estas limitaciones, los resultados muestran que con el modelo utilizado es posible asignar rutas hasta un máximo entre 40 y 50 puntos con el tiempo disponible de hasta ocho horas. Estos resultados son similares a los de Laporte (2009) que informó obtener soluciones hasta 60 puntos para el modelo original hasta con 5 vehículos, sin indicar el tiempo utilizado.

La complejidad de un modelo matemático está expresada por la cantidad de restricciones del modelo y la cantidad de variables discretas incluidas. En el modelo de prueba la cantidad de restricciones corresponde a $(n+1)^2+n$. por lo que tiene una complejidad $O(n^2)$ y el 50 % de las variables son binarias. En función de los tiempos de solución obtenidos durante las pruebas, al utilizar los criterios de selección de tiempos razonables expuestos, se determinó que un orden de magnitud inferior a siete para la cantidad de iteraciones resulta práctico y viable para implementarse en soluciones informáticas basadas en este modelo. Estos resultados permiten inferir que el rango al que pertenece el máximo de puntos será menor cuando se utilicen otros modelos de complejidad similar o mayor a $O(n^2)$ y que consideren las limitaciones reales de asignar cargas a múltiples vehículos, además de disponer de capacidad limitada.

Al revisar los tiempos de solución reportados por Daza, Montoya y Narducci (2009) con soluciones heurísticas y metaheurísticas, sería recomendable la evaluación de estas técnicas para la resolución del VRP fuera del rango propuesto.

Contrariamente a lo que el sentido común indica, cuando los puntos están dispuestos con una mayor correlación, el tiempo de solución es mayor, pues es necesaria una mayor cantidad de iteraciones para encontrar la solución óptima. Este resultado puede deberse a que cuando estos puntos se encuentran dispuestos así, las diferencias entre distancias son mucho menores y puede resultar más difícil para el algoritmo seleccionar una solución que sea mejor a las otras y por tanto puede que exista una cantidad mayor de cambios en la solución hasta encontrar la solución óptima. Por el contrario, cuando los puntos se encuentran dispersos la solución óptima puede ser encontrada antes, al existir mayores diferencias que permiten descartar con menos iteraciones las otras soluciones.

La importancia de alinear las operaciones de reposición con los clientes fue reportada por la consultora Booz Allen Hamilton que las denominó empresas “personalizadoras inteligentes”, encontrando que exhibieron una brecha de rendimiento de 2:1 sobre aquellas compañías que no lo hicieron (Gattorna, 2009). Los resultados muestran que no es viable la optimización lineal para grandes cantidades de puntos de entrega, por ello la agrupación de estos por criterios que permitan una previa agrupación basada en una segmentación alineada con las operaciones de reparto generaría no solo una reducción de las probabilidades de error humano, una mayor eficiencia y menor costo en el uso de transporte, sino un mayor rendimiento que incremente directamente el nivel de servicio y la satisfacción del cliente.

7. Conclusiones y recomendaciones

A partir de este estudio experimental se concluye:

- La solución del VRP presenta una complejidad exponencial ($O(kn)$) a medida que los puntos de entrega se incrementan debido al tiempo y las iteraciones necesarias para resolver el modelo de programación lineal. Además, la relación entre el tiempo de solución en segundos y la cantidad de iteraciones necesarias del *solver* Lingo 17 es lineal, sin haberse encontrado diferencias significativas debido a los cambios en el orden de la matriz básica.
- Con la potencia computacional actual la resolución de problemas de programación lineal mixta con este tipo de formulación permite optimizar empleando tiempos razonables y alcanzar una solución con magnitud de millones o decenas de millones de iteraciones.
- Basados en la cantidad de puntos de entrega es posible estimar el orden de magnitud de la cantidad de iteraciones y el tiempo requerido para encontrar la solución óptima.

Se recomienda un rango de 40 a 50 puntos de entrega como máximo para modelos de complejidad $O(n^2)$ con variables binarias, dentro del cual el tiempo de solución aplicando programación lineal en el VRP es razonable en el contexto del desarrollo de un sistema de

soporte para la toma de decisiones. Fuera de ese rango es conveniente evaluar algoritmos heurísticos o metaheurísticos que brinden soluciones no óptimas, pero en tiempos razonables. Los tiempos en escenarios dispersos (toda la ciudad) son menores que en escenarios concentrados (carretera). Este hallazgo es una motivación para ampliar la investigación ya que en este tipo de escenarios la solución puede ser obvia para el personal a cargo mientras que la computadora tardará más en proporcionar una solución óptima.

8. Otras implicancias del estudio

Desde el enfoque de gestión:

- La viabilidad de encontrar soluciones óptimas para las rutas de vehículos en tiempo razonable determina que la optimización mediante programación lineal con modelos de complejidad cuadrática evalúe como máximo valores cercanos a los 50 puntos de entrega.
- Si se requiere considerar en el modelo variables como carga o inventario disponible, o valorización de pedidos, esto hará que la complejidad aumente y los puntos de entrega máximos sean menores.
- La complejidad determina que se debe realizar una asignación previa de puntos de entrega a las unidades de transporte por criterios que pueden ser diferentes a la distancia entre puntos cuando es necesario programar rutas para una mayor cantidad de puntos. La elección de criterios tácticos adecuados puede impactar significativamente en la eficiencia y productividad de la empresa, por lo que deja un margen para la discusión de los criterios clave a considerar por parte de los tomadores de decisiones y responsables del establecimiento de políticas correctas. La segmentación de los clientes puede ser uno de los criterios clave, pues las evidencias muestran rendimientos mayores en las empresas que han realizado personalización de la entrega como medio para mejorar su relación con el cliente.
- El reemplazo del trabajo manual aún no es viable del todo, pues existen escenarios evidentes para la experiencia humana como el de puntos de reparto poco dispersos en los que se requiere personal experimentado y capacitado que tome decisiones, dejando la resolución de escenarios complejos como puntos altamente dispersos con el uso de *software*, para agilizar los procesos de distribución de productos.

Desde el enfoque de investigación:

- La necesidad de realizar asignaciones previas para problemas de gran envergadura conduce a la evaluación de propuestas de resolución mediante programación por metas cuando coexistan múltiples criterios para realizar la asignación previa.

- La evaluación del impacto del uso de múltiples unidades de características diversas puede determinar rangos diferentes para la aplicación de las técnicas de optimización.

Es necesario conocer otros factores distintos a la distancia o costo de entrega que orienten la decisión en la elección de criterios a tomar en cuenta para priorización de pedidos pendientes de atención.

Referencias

- Alvarez, P., Lerga, I., Serrano, A. y Faulin, J. (2017). Considering Congestion Costs and Driver Behaviour into Route Optimisation Algorithms in Smart Cities (pp. 39-50). DOI:10.1007/978-3-319-59513-9_5.
- Arboleda-Zúñiga, J., López, A. X. y Lozano, Y. L. (2016). El problema de ruteo de vehículos [VRP] y su aplicación en medianas empresas colombianas. *Ingenium*, 10(27), 29-36.
- Azzara, C. V. (2010). *Questionnaire Design for Business Research: Beyond Linear Thinking-an Interactive Approach*. Mustang: Tate Publishing & Enterprises.
- Baldacci, R., Hadjiconstantinou, E. y Mingozzi, A. (2004). An exact algorithm for the vehicle routing problem based on the set partitioning formulation with additional cuts. *Operations Research*, 52(5), 723-738. DOI:10.1287/opre.1040.0111.
- Cook, S. A. (1983). An overview of computational complexity. *Communications of the ACM* (Vol. 26).
- Dantzig, G. B. (2002). Linear Programming. *Operations Research*, 50(1), 42-47. DOI:10.1287/opre.50.1.42.17798.
- Daza, J. M., Montoya, J. R. y Narducci, F. (2009). Resolución de problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *Eia*, 1(12), 23-38.
- Gattorna, J. (2009). *Cadena de abastecimientos dinámicas: Cómo movilizar la empresa alrededor de lo que los clientes quieren* (1ª. ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Golden, B. L., Wasil, E. A., Kelly, J. P. y Chao, I.-M. (1998). The impact of metaheuristics on solving the vehicle routing problem: Algorithms, problem sets, and computational results. En *Fleet Management and Logistics* (pp. 33-56). Boston, MA: Springer US. DOI:10.1007/978-1-4615-5755-5_2.
- Han, H. y Cueto, E. P. (2015). Waste Collection Vehicle Routing Problem: A Literature Review. *PROMET - Traffic & Transportation*, 27(4), 345-358. <https://doi.org/10.7307/ptt.v27i4.1616>.

- Landero, R. y González, M. (2011). *Estadística con SPSS y metodología de la investigación* (1ª. ed.). México: Trillas.
- Laporte, G. (2009). Fifty Years of Vehicle Routing. *Transportation Science*, 43(4), 408-416. DOI:10.1287/trsc.1090.0301
- Limeños pierden el 25 % de sus ingresos por el tránsito vehicular. (2017). *La República*. Recuperado de: <http://larepublica.pe/economia/865633-limenos-pierden-el-25-de-sus-ingresos-por-el-transito-vehicular>
- Lovelock, C. y Wirtz, J. (2009). *Marketing de servicios* (6ª. ed.). México: Pearson Educación.
- Machuca, J. y Taquíá, J. (2009). Balanza comercial de los combustibles líquidos derivados del petróleo mediante dinámica de sistemas y simulación. *Ingeniería Industrial*, 27, 61-79.
- Onut, S., Kamber, M. R. y Altay, G. (2014). A heterogeneous fleet vehicle routing model for solving the LPG distribution problem: A case study. *Journal of Physics: Conference Series*, 490. DOI:10.1088/1742-6596/490/1/012043.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2009). Decreto Supremo N°. 017-2009-MTC.
- Srivatsa Srinivas, S. y Gajanand, M. S. (2017). Vehicle routing problem and driver behaviour: a review and framework for analysis. *Transport Reviews*, 37(5), 590-611. DOI:10.1080/01441647.2016.1273276.
- Tzeng, G.-H., Cheng, H.-J., y Huang, T. D. (2007). Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 673-686. DOI:10.1016/j.tre.2006.10.012.

REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE TRANSPARENCIA Y CONFIANZA QUE OFRECE LA TECNOLOGÍA *BLOCKCHAIN*

Manuela Linares Barbero
malinare@ulima.edu.pe
Universidad de Lima. Lima, Perú

Resumen

La confianza es un elemento fundamental del mundo contemporáneo, especialmente en las diferentes transacciones que realizan las empresas. El incremento del fraude, así como la falsificación de productos y servicios, han generado que las compañías deban gastar dinero y esfuerzos en reprocesos y medidas de seguridad. Las transacciones transparentes se han convertido un reto que muchos buscan lograr. Una de las grandes propuestas de transacciones confiables es la tecnología *blockchain*. Esta puede ofrecernos, transparencia en las transacciones y confianza entre las organizaciones, aun si no se conocen entre ellas previamente. En nuestro artículo desarrollaremos la revisión de la literatura de las capacidades de transparencia y confianza que nos presenta la tecnología *blockchain* en la cadena de suministro.

Palabras clave: blockchain, cadena de suministro, transparencia, confianza, confiabilidad, sistemas distribuidos

Abstract

Reviewing the capacity for transparency and trust offered by the blockchain technology

Trust is a fundamental element of the contemporary world, especially in the different transactions carried out by companies. The increase of fraud, as well as the falsification of products and/or services, has generated that companies must spend money and efforts in implementing reprocesses and security measures. Transparent transactions have become a challenge that many seek to achieve. One of the great proposals of reliable transactions is the blockchain technology. It can offer us transparency in transactions and trust among organizations, even if they do not know each other beforehand. In our article, we will review the literature on the capacity for transparency and trust that the blockchain technology presents in the supply chain.

Keywords: blockchain, supply chain, transparency, trust, reliability, distributed systems

1. Introducción

Existen serios problemas de falsificación y fraude en la cadena de suministro de las empresas. Muchas de estas reducen el problema en mención con tecnología RFID (Radio Frequency Identification); sin embargo, las etiquetas que utiliza son fácilmente copiadas o modificadas por personas inescrupulosas. Tomando en cuenta que las empresas mantienen toda la información en un sistema centralizado, es decir, en una única ubicación, quedan expuestas a riesgo de robos, soborno al personal o pérdidas de información sensible de los productos y, muchas veces, de los datos de los clientes (Tian, 2017). Por este motivo, los consumidores han perdido la confianza en las compañías comerciales, con el temor de que los productos comprados se hayan adulterado o de que su información sea robada.

Para eliminar los problemas expuestos y sobre todo para ganar nuevamente la confianza de los clientes, contamos con la propuesta que nos trae la nueva plataforma *blockchain*. Se trata de una tecnología disruptiva que cambiará el mundo empresarial, así como lo hizo la imprenta en siglo xv y la internet en el siglo xx (Faye, 2017). Utilizando un sistema distribuido, logra mantener la integridad de la información y al mismo tiempo la difunde entre todos los participantes. La aplicación más conocida es la criptomoneda, como bitcoin, la cual tiene más del 23 % de sus nodos en Estados Unidos (Yeow, 2018) y fue creada para reducir o eliminar el doble gasto en las transacciones (Christidis y Devetsikiotis, 2016), pero dicha tecnología no es exclusiva de ella.

La plataforma mencionada ofrece múltiples aplicaciones: en la cadena de suministro, en el sector de educación, en la sostenibilidad del medio ambiente, entre otros, las que pueden beneficiarse de las capacidades de trazabilidad, transparencia y confiabilidad.

Una aplicación interesante en la cadena de suministro es Everledger, que utiliza la tecnología *blockchain* para rastrear diamantes desde su extracción en bruto hasta el actual poseedor de la joya. Así se contribuye con la eliminación del mercado negro de diamantes (Kshetri, 2018).

Incorporando la propuesta de seguimiento de localización, identificamos las coordenadas exactas donde se encuentra cada objeto (Kamel Boulos, Wilson y Clauson, 2018). Observamos que mediante este sistema es posible colaborar con las empresas, pues se evitaría que estas proyecten una imagen negativa generada por el fraude o por productos alterados. Adicionalmente, lograría reducciones de tiempo y costos en las transacciones así como robos.

En nuestro artículo desarrollaremos la revisión de la literatura de las capacidades de transparencia y confianza que nos presenta la *blockchain* en lo que se refiere a la cadena de suministro. También exploraremos los beneficios en otras aplicaciones que se desarrollan con la plataforma mencionada.

En la figura 1 podemos apreciar las bases de datos de búsqueda y la selección que se realizó de los artículos encontrados, filtrando las 40 fuentes utilizadas en esta revisión.

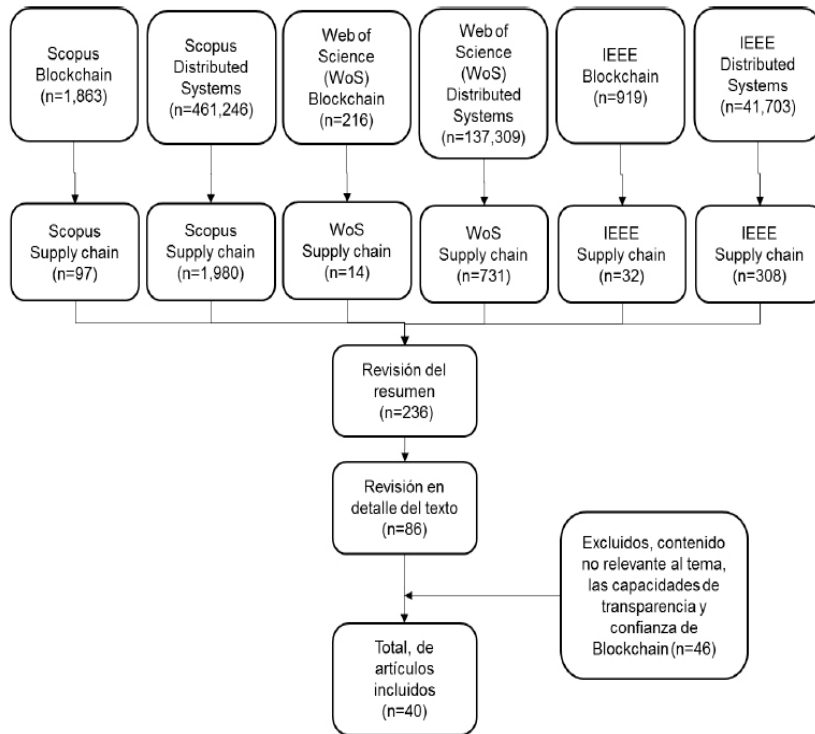


Figura 1. Estrategia de selección de artículos

Elaboración propia.

2. Transparencia y confianza que ofrece *blockchain*: cadena de suministro

2.1 Modelo de negocio

Apreciamos la creación de nuevos modelos de negocio como lo es DAO (Decentralized Autonomous Organization), una organización creada completamente con base en Smart Contracts (Atzei, Bartoletti y Cimoli, 2017). Con estos nuevos modelos de negocio se expanden los horizontes a un mundo totalmente descentralizado en el que las organizaciones no son controladas por unos pocos individuos sino por todos los interesados, es decir, todos los nodos en la red, los que, con su aprobación o rechazo de los bloques controlan las transacciones que se realizan en la organización. Este nuevo modelo de negocio nos conduce a un mundo empresarial que hace unos años parecía utópico, pero hoy con la tecnología de *blockchain*, combinada con el concepto de Smart Cities, a través de servicios compartidos (Sun, Yan y Zhang, 2016), nos demuestra que ya es una realidad.

No obstante, aún queda mucho camino por recorrer, y estas soluciones no están exentas de riesgos y problemas, como es el caso de DAO, desarrollado en la plataforma

Ethereum y programada en Solidity, lenguaje de programación de la *blockchain* mencionada. En él se puede dar la pérdida de *ether* (token de la plataforma), al enviar a una dirección inválida, o puede sufrir ataques al DAO para robar los *ethers*. Ejemplo de ello fue el suceso del 18 de junio del 2016, cuando un atacante logró registrar 60 millones de dólares americanos en *ethers* bajo su control (Atzei, Bartoletti y Cimoli, 2017).

El caso mencionado nos demuestra la importancia de mantener las leyes en el mundo digital. El gran beneficio de tener un sistema distribuido consiste en evitar la centralización y los riesgos que trae consigo, como la mayor vulnerabilidad de ataques, los problemas de corrupción, como sobornos a quienes manejan la información y abusos de esta. Podemos ver propuestas de solución basadas en la generación de Smart Contracts para lograr la identificación por parte de los usuarios, asociándolos a su data o a un controlador específico, o por parte del controlador, vinculándolos al tipo de información sin importar el usuario (Neisse, Steri y Nai-Fovino, 2017). Las propuestas señaladas nos indican el camino para poder cumplir con las leyes de protección de datos en la plataforma *blockchain*, y así mantener la confianza de las organizaciones, los consumidores y la comunidad.

2.2 Transparencia en la cadena de suministro con *blockchain*

No es extraño que en el mundo comercial los consumidores sean víctimas de personas inescrupulosas que alteran los productos. A esta situación se añaden los riesgos a los que nos exponen el medio ambiente y el manejo de la mercancía en producción, empaque y distribución, especialmente medicamentos, alimentos y bebidas.

El medio ambiente se presenta como un factor crítico en el transporte de algunos bienes sensibles a la temperatura y la humedad, como los medicamentos. Para cumplir con la nueva regulación de la Unión Europea, las empresas de transporte de medicinas utilizan camiones refrigerantes en todas sus rutas. La *start-up* Modum, en colaboración con la Universidad de Zürich, diseñó un sistema para la distribución de medicinas dirigido a reducir el costo del transporte al minimizar el uso de camiones frigoríficos (Kshetri, 2018), los que evitan el deterioro de la mercadería. Los retos del medio ambiente están presentes en el transporte de los productos agrícolas, desde la cosecha hasta el supermercado y sus múltiples intermediarios. Estos manejan datos sensibles del traslado que ellos mismos realizan y de quien les entregó los productos; se pierde así información fundamental del estado real de los alimentos en otras partes de la cadena. Para evitar este problema, la tecnología *blockchain* nos puede apoyar eficazmente con la difusión de la información (Faye, 2017), y facilita la transparencia que requieren todos los involucrados en la red.

En la cadena de suministro se han de tomar en cuenta los siguientes factores: los costos, la velocidad, la dependencia, la reducción del riesgo, la sostenibilidad y la

flexibilidad. Para este conjunto de elementos se han desarrollado varios proyectos piloto con la plataforma *blockchain*.

Algunos han sido combinados con la tecnología IoT (Internet of Things o el internet de las cosas) (Kshetri, 2018). También existen propuestas que pretenden mejorar la transparencia e integridad de los datos usando la ayuda de sensores IoT asegurados con claves públicas y privadas (Faye, 2017), manteniendo así los certificados de origen. Con dicha plataforma se ofrece al consumidor de forma transparente la información del producto, influenciando en gran medida su decisión de compra (Sander, Semeijn y Mahr, 2018).

En el intento de eliminar los riesgos de enfermedades que podrían sufrir los clientes por la ingesta de productos alimenticios, se han desarrollado diferentes modelos de control como HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) de la FDA (Food and Drug Administration), que busca eliminar riesgos biológicos, químicos y físicos que puedan dañar los alimentos (Tian, 2017).

Ello sucedió en el 2015 con Chipotle Mexican Grill, al generarse un brote de *Escherichia coli* en 55 consumidores (Casey y Wong, 2017). El modelo de control HACCP se puede desarrollar con una plataforma privada de *blockchain* y así garantizar la confiabilidad de la información, como temperatura, humedad y otras características que es necesario monitorear durante el transporte y dar avisos a las tiendas o restaurantes de las fechas de vencimiento para eliminar la mercadería que pueda enfermar a sus clientes (Tian, 2017). De esta manera evitamos el desprestigio de la marca comercial y del establecimiento en el que se expenden los alimentos.

Los riesgos a los que se exponen los consumidores al adquirir productos en mal estado, especialmente alimentos y medicinas, se presentan como un reto que ha de enfrentarse inmediatamente. En lo que respecta a las medicinas, la FDA (Food and Drug Administration), con el Acta de Seguridad e Innovación (Safety and Innovation Act) y el Acta de Seguridad en la Cadena de Suministro de los Medicamentos (Drug Supply Chain Security Act) en los Estados Unidos, y la Directiva de Medicinas Falsificadas (Falsified Medicines Directive) en la Unión Europea, ofrecen normas para garantizar la vigilancia de los productos farmacéuticos (Beninger, 2017). Estas ayudan a eliminar el problema de medicamentos alterados y, recurriendo a la implementación de la tecnología *blockchain* en la cadena de suministro en todas sus etapas, a garantizar las normas de seguridad por medio de sensores en los laboratorios y en el transporte de insumos de cada fármaco, para evidenciar que no han sido alterados antes de la producción. Se deben medir los indicadores necesarios durante la producción de los medicamentos y después en su empaquetado, transporte y almacenamiento, hasta que llegan al consumidor en una farmacia, hospital o cualquier centro médico donde se atienda al paciente. La transparencia de la información que nos ofrece *blockchain* permite que cualquier entidad dentro de la cadena de suministro pueda rechazar medicamentos o insumos que no cumplan los estándares determinados por las normas legales.

2.3 Confianza en la cadena de suministro con *blockchain*

Cuando pensamos en la cadena de suministro de productos alimenticios, la confianza en la información que maneja la misma es de vital importancia, especialmente con los bienes perecibles de corta vida, los que necesitan mantenerse entre ciertas temperaturas. La utilización de una plataforma de *blockchain* con el uso de la tecnología IoT, puede solucionar no solo el problema de trazabilidad, sino también el de la información relacionada al deterioro del bien. Existen varias propuestas para la combinación de estas tecnologías en la cadena de suministro, como es la de AgriBlockIoT (Pincheira Caro, Salek Ali, Vecchio y Giaffreda, 2018), pruebas piloto de Walmart con IBM (Firica, 2017), en el mercado de segunda mano (Toyoda, Sasase, Ohtsuki y Mathiopoulos, 2017), en la planeación de la producción de aviones (Madhwal y Panfilov, 2017), en la geolocalización de la mercadería transportada (Wu, Li, King, Miled, Wassick y Tazelaar, 2017), el empleo de una plataforma privada con cierta información pública (Engelenburg, Janssen y Klievink, 2017), entre otras.

Todas enfrentan los mismos retos relacionados a la verificación del sensor y la información que emite. Qu, Tao, Zhang, Hong y Yuan (2018) nos ofrecen una solución basada en una estructura jerárquica de *blockchain* con nodos que gestionan el servicio. Los nodos del nivel inferior están conectados a los dispositivos IoT, verifican su identidad, localización e integridad de información antes de crear el bloque, difundirlo en su nivel y enviarlo al nodo del siguiente nivel, el que repetirá el proceso hasta llegar al nivel superior. Con la propuesta mencionada se puede evitar que la información sea alterada maliciosamente o por defectos del sensor y pueda ingresar a la cadena de bloques.

Así como la verificación de los sensores IoT es de vital importancia, también lo es la validación de los usuarios al momento de realizar transacciones. Cada organización tiene sus propios mecanismos para reconocer a sus clientes, especialmente si se realizan operaciones con alto valor monetario. Podemos identificar una propuesta para KYC (*know-your-customer*, conoce a tu cliente), que busca verificar al mismo usando la tecnología de registro distribuido que nos ofrece *blockchain*, en la que se valida solo una vez al consumidor y se comparte esta información con todas las organizaciones que la necesiten (Parra Moyano y Ross, 2017). Se reduce así el doble proceso que realiza cada organización al validar de manera independiente a sus compradores y se logra la transparencia de la información de manera eficiente.

3. Algunos aspectos de seguridad que plantea el uso de *blockchain*

3.1 Posibles ataques

El mayor beneficio que nos ofrece la tecnología *blockchain* es la seguridad de los datos a nivel de integridad como de confiabilidad, al ser un sistema distribuido en el que solo se

pueden agregar bloques y no modificar o eliminar los mismos de la cadena. Sin embargo, esto no evita que personas maliciosas quiera alterar la cadena aprobando o rechazando bloques a su favor, generando *mining pools*, grupos de mineros, para obtener más del 51 % del *hash power* (Lin y Liao, 2017). Con el ataque del 51 % un nodo minero puede agregar bloques para generar doble gasto o robar *tokens* (Xu, 2016). Esto ha llevado a que más del 50 % del *hash power* se ubique en China (Yeow, Gani, Rodrigues, Ahmad y Ko, 2017). Actualmente no se producen estos ataques porque el valor del *token*, la recompensa por el minado, es significativo en comparación con el valor de la transacción (Lin y Liao, 2017). Al problema en mención se añade el *sybil attack* (Yeow, Gani, Rodrigues, Ahmad y Ko, 2017) que genera múltiples identidades.

En la *blockchain* pública la identidad de los participantes es anónima. Si bien todos los nodos tienen acceso a ver las transacciones en la cadena de bloques, no se puede identificar a los participantes pues estos se identifican en la red con su clave privada. Tal situación genera el problema de robo de identidad. Si la clave privada es robada, el infractor tendrá acceso a robar todos los bienes y, al ser anónima, no habrá forma de identificarlo (Xu, 2016). Esto nos demuestra lo importante que es el desarrollo de nuevas políticas en cuanto a la identidad de los participantes en la red. Los ataques reseñados son propios de las *blockchains* públicas y no ocurren en las *blockchains* privadas o de consorcio porque en estas existe una lista predeterminada de nodos y sus accesos que hace innecesarios los incentivos.

3.2 Problemas *fork*

Algunos otros inconvenientes surgidos en las plataformas *blockchain* no se generan por intenciones maliciosas, como los problemas *fork*, que aparecen cuando dos nodos aprueban el bloque al mismo tiempo y dividen la cadena (Hanifatunnisa y Rahardjo, 2017). No es normal que dos nodos aprueben un bloque al mismo tiempo, sin embargo, cuando existen dos versiones de la plataforma en la misma red, los nodos validan bloques con protocolos de consenso diferentes y generan la bifurcación en la cadena (Kamel Boulos, Wilson y Clauson, 2018). La separación puede ser suave (*soft fork*), es decir, se crea una cadena más corta que es descartada rápidamente, o dura (*hard fork*), es decir, se crea una nueva *blockchain* con los nodos de la versión antigua (Lin y Liao, 2017), como es el ejemplo de Ethereum y Ethereum Classic (Kaal, 2017).

Para solucionar los problemas de *fork* se han desarrollado nuevos proyectos, como SegregatedWitness, SegWit (Olsen, Battiston, Caldarelli, Golub Nikulin e Ivliev, 2018), los que buscan mejorar los protocolos de consenso y así solucionar las dificultades existentes, como el Proof of Activity (PoA), basado en el Proof of Work (PoW) y el Proof of Stake (PoS); el Chain of Activity, basado en el PoA (Cocco, Pinna y Marchesi, 2017). PoS se basa en los participantes con mayor cantidad de *tokens* como los más interesados en

mantener la integridad de la red, al ser quienes han apostado más por esta plataforma (Meng, Tischhauser, Wang, Wang y Han, 2018), por lo que tienen mayor cantidad de votos.

3.3 Compromiso entre escalabilidad y velocidad

La compensación entre escalabilidad y velocidad, tiempo de transacciones, es otro problema de la plataforma que se debe solucionar. Para mejorar la escalabilidad en la plataforma de *blockchain* se desarrollan implementaciones como Simplified Payment Verification (SPV), que procura reducir la cantidad de datos almacenados al utilizar solo el mensaje de cabecera del bloque (Lin y Liao, 2017).

Si comparamos el tiempo de una transacción de pago, las confirmaciones de las transacciones realizadas con tarjeta de crédito demoran entre dos y tres días. Con bitcoin esta verificación demora solo una hora (Lin y Liao, 2017) y la generación del bloque demora un minuto (Anh Dinh, Liu, Zhang, Chen, Chin Ooi y Wang, 2018). El ejemplo mencionado nos muestra con gran facilidad cómo la tecnología *blockchain* puede reducir los tiempos de transacciones; en una de las transacciones más comunes y simples como es el pago con tarjeta de crédito, podemos proyectar los enormes beneficios en reducción de tiempos y por lo tanto de dinero que genera el utilizar esta tecnología en transacciones más complejas, sobre todo en las que se tiene mayor cantidad de entidades involucradas.

Otras propuestas buscan reducir la carga de procesamiento y utilizar sensores en dispositivos móviles (Zhang, Xue y Huang, 2016), así como expandir la aplicación del *blockchain* al sector salud, recopilando información de los pacientes. El planteamiento nos permite acercarnos a una situación en la que el mismo paciente puede registrar sus características físicoquímicas, como presión arterial, nivel de glucosa, entre otros; mediante un dispositivo IoT, el equipo envía los datos al nodo más cercado para la creación del bloque pertinente en la cadena y así el doctor puede revisar el historial de todas las mediciones sin necesidad de estar presente en la misma medición.

4. Beneficios de la transparencia y confianza de *blockchain* en diversos sectores

Los beneficios de transparencia y confianza que nos ofrece la tecnología *blockchain* tienen una gran versatilidad de aplicaciones. Como hemos visto con la cadena de suministro, de la misma forma se puede aplicar a la cadena de demanda al crear bloques con información de los gustos y preferencias de los clientes en la misma tienda, la que podrá ser compartida con los distribuidores, fabricantes y todos en la red.

4.1 Aplicaciones en sostenibilidad

En relación con la sostenibilidad se están desarrollando varias propuestas, como el uso de la plataforma *blockchain* enlazada con el esquema de comercialización de emisiones

(ETS o Emission Trading Scheme), en la industria textil, por ser esta responsable de aproximadamente 10 % de las emisiones de carbono (World Wildlife Fund, 2013). El esquema ETS se basa en el seguimiento de la norma y límites estipulados por las autoridades y, combinado con la tecnología *blockchain*, se puede manejar un *token* basado en las unidades permitidas de carbono que distribuye la autoridad del gobierno correspondiente a las empresas que lo utilizan para la fabricación, empaque y transporte de sus bienes, además de comercializar estos *tokens* entre estas (Fu, Shu y Liu, 2018). Así se evita la falsificación, fraude o sobornos relacionados con las emisiones de carbono de las compañías, y se controla de forma más eficiente la contaminación en el planeta.

También podemos apreciar iniciativas relacionadas con la eficiencia del uso de la electricidad y la comercialización del excedente de esta por consumidores que generen energía renovable (Huang, Choi, Lee, Jeon, Kim, Park y Park, 2017). Uno de los mayores problemas es el uso de energías no renovables. En varios países desarrollados las familias están utilizando paneles solares, molinos de viento, entre otros; sin embargo, la energía que ellos generan y no utilizan se pierde. Lo que nos indica la propuesta es la posibilidad de aprovechar esa energía generada para venderla a otras familias o entidades que no la generaron suficientemente o que no la pueden generar, y de esta forma emplear menos energía no renovable.

4.2 Aplicaciones en el sector financiero

Dentro del sector financiero se han realizado avances con Smart Contracts, buscando reducir tiempos y costos. La gestión de los contratos se puede realizar con la tecnología *blockchain* si separamos la elaboración de los términos del contrato de su ejecución, de forma que la gestión del contrato pueda darse de forma imparcial (Egelund-Müller, Elsmann, Henglein y Ross, 2017). Los Smart Contracts pueden encargarse de la parte de la ejecución. Al ser programados con las reglas del negocio, se ejecutarán automáticamente cuando ciertas condiciones se cumplan, como pagos a una fecha determinada, cobros de algún instrumento financiero, emisión de facturas, entre otros.

4.3 Aplicaciones en lotería

Otras aplicaciones interesantes para el uso de la tecnología *blockchain* pueden dirigirse al manejo de la lotería en Smart Cities, FairLotto, y así garantizar la equidad, transparencia y privacidad del modelo (Liao y Wang, 2017), dando mayor confianza al consumidor en torno de las probabilidades que pueda tener su boleto de lotería.

4.4 Aplicaciones en voto electrónico

También se tienen modelos orientados al voto electrónico, eliminando el fraude de este (Hanifatunnisa y Rahardjo, 2017). La transparencia y confiabilidad que nos ofrece un

sistema distribuido es ideal para la gestión de votaciones electrónicas (Khan, Arshad y Khan, 2018). Las propuestas mencionadas con *blockchain* van a revolucionar todo tipo de elecciones al devolver al votante la confianza en el sistema de votación, especialmente en países en desarrollo donde esta confianza es menor. Asimismo, eliminará la posibilidad de corrupción, sobornos y manipulación de los votos. Al tener todos los nodos en la red acceso a la información en la cadena de bloques, es imposible manipularla o generar bloques falsos.

4.5 Aplicaciones en educación

Se pueden ver propuestas en el sector de educación como EduCTX, basado en un sistema distribuido de punto a punto que maneja y controla los ECTS (Sistema Europeo de Acumulación y Tránsito de Créditos por sus siglas en inglés) de forma confiable y transparente (Turkanovic, Hölbl, Kosić, Hericko y Kamisalic, 2018). Todas las entidades de educación superior controlan el progreso de los alumnos con base en las notas y los créditos que se les otorgan al aprobar los diferentes cursos. Estos créditos están asociados con el número de horas necesarias para cada curso; en el Perú es una relación de las horas de dictado de clase, es decir, horas presenciales. En Europa los créditos ECTS están basados en la cantidad de horas que el alumno necesita dedicarle al curso para aprobarlo de manera satisfactoria; estas horas pueden ser horas de dictado de clase, de estudio, de visitas a empresas, de elaboración de proyectos, de investigación, entre otras. El espíritu de los créditos ECTS es estandarizar el avance curricular y nivel de educación que tiene cada estudiante, de forma que el grado otorgado por una institución en un país tiene el mismo valor al tener la misma cantidad de créditos ECTS en cualquier país de Europa.

Podemos apreciar la gran ventaja de manejar la información de los créditos ECTS en una plataforma *blockchain*, donde los bloques son inmutables una vez creados, e imposibles de falsificar o adulterar. Así se reduce la falsificación de certificados o títulos profesionales. La Universidad de Nicosia es la primera en utilizar la tecnología *blockchain* para manejar los certificados de sus estudiantes (Sharples y Domingue, 2016). Otros planteamientos buscan integrar el registro de las competencias adquiridas por los alumnos y los resultados del aprendizaje o *learning outcomes* que obtienen. Gran cantidad de instituciones de estudios superiores manejan un currículo basado en competencias, las cuales son medidas a través de evaluaciones como exámenes, trabajos o exposiciones. En este punto se han encontrado algunos problemas en la automatización de la medición de los trabajos o exámenes en Smart Contracts, dado que estos pueden contener partes subjetivas que necesitan de una persona para que defina el resultado (Chen, Xu, Lu y Chen, 2018). Por ello, no podemos tener un sistema de medición de competencias del alumno completamente automatizado con la tecnología *blockchain*, sino que debe ser un sistema semiautomático donde exista la interacción de personas en la calificación de los trabajos de los alumnos.

5. Conclusiones

Observamos con claridad que existen muchas formas de aprovechamiento de la tecnología *blockchain*, especialmente al incrementar la confianza en las diferentes entidades involucradas en una misma la cadena de suministro a través de la transparencia que brinda de la información. De esta misma forma podríamos hablar de la cadena de demanda, es decir, complementar la información que se maneja en la cadena de suministro con los gustos y preferencias de los consumidores, lo que sería de gran ayuda para los mayoristas, distribuidores, operadores logísticos, fabricantes, etcétera.

Al revisar la literatura podemos encontrar gran cantidad de investigaciones académicas así como proyectos piloto que enfatizan la enorme utilidad de la tecnología *blockchain* para mantener la integridad de la información desde las entidades productoras hasta el consumidor final. Sin embargo, debemos identificar que la cadena de demanda, que va en sentido inverso, del consumidor final a la entidad productora, es tan importante para las empresas como la cadena de suministro.

La cadena de suministro puede aprovechar la tecnología *blockchain* para evitar problemas de ruptura de *stock*, en planificación, y contiene información muy valiosa para las áreas de *marketing*, desarrollo de producto y diseño de servicios, al contener el detalle de los gustos y preferencias del consumidor, información que puede ser identificada en las tiendas minoristas, pero difícilmente regresa con el mismo detalle a través de toda la cadena hasta la fábrica.

También hemos evidenciado los problemas que aún tiene esta tecnología en cuanto a riesgo en seguridad de los Smart Contracts y la importancia de programarlos a prueba de fallas o de ataques maliciosos. Asimismo, hemos expuesto los avances de la combinación de la tecnología *blockchain* con dispositivos IoT, los cuales carecen de grandes capacidades de procesamiento y muchos de ellos, como los sensores, tienen poca capacidad de almacenamiento de información.

Conforme la tecnología de *blockchain* avanza podemos descubrir diferentes versiones de algunas de las plataformas que en la actualidad son más de 17 (Shanley, 2017), lo que nos lleva a problemas *fork*, cuando la cadena se divide en dos cadenas de bloques al tener protocolos de conceso diferenciados, y puede llevar a separar la red en dos plataformas diferenciadas de *blockchain*, como es el caso de Ethereum y Ethereum Classic (Kaal, 2017).

La tecnología *blockchain* nos ofrece un nuevo universo, donde la confianza entre entidades no es necesaria al estar garantizada por la plataforma con la verificación de los bloques antes de ser aceptados en la cadena. También es importante resaltar la transparencia: los nodos pueden acceder a toda la información en la red. Finalmente, los Smart Contracts nos facilitan nuevos modelos de negocios con transacciones y contratos totalmente automatizados sin la necesidad de intervención humana.

Referencias

- Anh Dinh, T., Liu, R., Zhang, M., Chen, G., Chin Ooi, B., y Wang, J. (2018, Julio). Untangling Blockchain: A Data Processing View of Blockchain Systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 30(7), 1366-1385. doi:10.1109/TKDE.2017.2781227.
- Atzei, N., Bartoletti, M. y Cimoli, T. (2017). A Survey of Attacks on Ethereum Smart Contracts (SoK). *6th International Conference on Principles of Security and Trust* (pp. 164-186). Uppsala, Sweden: Springer.
- Beninger, P. (2017). Opportunities for Collaboration at the Interface of Pharmacovigilance and Manufacturing. *Clinical Therapeutics*, 39(4), 702-712. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinthera.2017.03.010>.
- Casey, M. y Wong, P. (2017). Global supply chains are about to get better, thanks to blockchain. *Harvard Business Review*, 13.
- Chen, G., Xu, B., Lu, M. y Chen, N.-S. (2018). Exploring blockchain technology and its potential applications for education. *Smart Learning Environments*, 5(1), 1-10.
- Christidis, K. y Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE Access*, 4, 2292-2303. doi:10.1109/ACCESS.2016.2566339.
- Cocco, L., Pinna, A. y Marchesi, M. (2017). Banking on Blockchain: Costs Savings Thanks to the Blockchain Technology. *Future internet*, 9(25), 1-20.
- Egelund-Müller, B., Elsmann, M., Henglein, F. y Ross, O. (2017). Automated Execution of Financial Contracts on Blockchains. *Business y Information Systems Engineering*.
- Engelenburg, S., Janssen, M. y Klievink, B. (2017). Design of a software architecture supporting business-to-government information sharing to improve public safety and security. *Journal of Intelligent information systems*. doi:10.1007/s10844-017-0478-z.
- Faye, P. (2017). Use of Blockchain Technology in Agribusiness: Transparency and Monitoring in Agricultural Trade. *4th International Conference on Management Science and Management Innovation*. 31, pp. 38-40. Suzhou, China: AEBMR-Advances in Economics Business and Management Research.
- Firica, O. (Octubre de 2017). Blockchain technology: Promises and realities of the year 2017. *Quality-Access to Success*, 18(S3), 51-58.
- Fu, B., Shu, Z. y Liu, X. (2018). Blockchain Enhanced Emission Trading Framework in Fashion Apparel Manufacturing Industry. *Sustainability*, 10(1105), 1-19.

- Hanifatunnisa, R. y Rahardjo, B. (2017). Blockchain Based E-Voting Recording System Design. *11th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications*. Lombok, Indonesia: IEEE.
- Hwang, J., Choi, M.-I., Lee, T., Jeon, S., Kim, S., Park, S. y Park, S. (2017). Energy Prosumer Business Model Using Blockchain System to Ensure Transparency and Safety. *4th International Conference on Power and Energy Systems Engineering* (pp. 194-198). Berlin, Alemania: Elsevier.
- Kaal, W. (2017). Crypto Transaction Dispute Resolution. *The Business Lawyer*, 109-152.
- Kamel Boulos, M. N., Wilson, J. T. y Clauson, K. A. (2018). Geospatial blockchain: promises, challenges, and scenarios in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 17-25.
- Khan, K., Arshad, J. y Khan, M. (2018). Secure Digital Voting System Based on Blockchain Technology. *International Journal of Electronic Government Research*, 14(1), 53-62.
- Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80-89.
- Liao, D.-Y. y Wang, X. (2017). Design of A Blockchain-based Lottery System for Smart Cities Applications. *3rd International Conference on Collaboration and Internet Computing* (pp. 275-282). Newark, California: IEEE.
- Lin, I.-C. y Liao, T.-C. (2017). A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges. *International Journal of Network Security*, 19(5), 653-659.
- Madhwal, Y. y Panfilov, P. B. (2017). Blockchain and supply chain management: Aircrafts' parts' business case. Vienna: 28th DAAAM International Symposium on intelligent manufacturing and automation. doi:10.2507/28th.daaam.proceedings.146.
- Meng, W., Tischhauser, E. W., Wang, Q., Wang, Y. y Han, J. (2018). When Intrusion Detection Meets Blockchain Technology: A Review. *IEEE Access*, 6, 10179-10188.
- Neisse, R., Steri, G. y Nai-Fovino, I. (2017). A Blockchain-based Approach for Data Accountability and Provenance Tracking. *12th International Conference on availability, reliability and security*. Calabria, Italy: ACM.
- Olsen, R., Battiston, S., Caldarelli, G., Golub, A., Nikulin, M. y Ivliev, S. (2018). Case study of Lykke exchange: architecture and outlook. *Journal of Risk Finance*, SI, 26-38.
- Parra Moyano, J. y Ross, O. (2017). KYC Optimization Using Distributed Ledger Technology. *Business Information Systems Engineering*, 59(6), 411-423.

- Pincheira Caro, M., Salek Ali, M., Vecchio, M. y Giaffreda, R. (2018). Blockchain-based Traceability in Agri-Food Supply Chain Management: A Practical Implementation. *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture* (págs. 1-4). Tuscany: IEEE.
- Qu, C., Tao, M., Zhang, J., Hong, X. y Yuan, R. (junio de 2018). Blockchain Based Credibility Verification Method for IoT Entities. *Security and Communication Networks*, 2018, 1-11. doi:doi.org/10.1155/2018/7817614.
- Sander, F., Semeijn, J. y Mahr, D. (2018). The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal*, 120(9), 2066-2079.
- Shanley, A. (2017). Could Blockchain improve pharmaceutical supply chain security? *Pharmaceutical Technology*, 34-39.
- Sharples, M. y Domingue, J. (2016). The Blockchain and Kudos: A Distributed System for Educational Record, Reputation and Reward. *European Conference on Technology Enhanced Learning - Adaptive and Adaptable Learning* (pp. 490-496). Lyon, France: Springer.
- Sun, J., Yan, J. y Zhang, K. Z. (2016). Blockchain-based sharing services: What blockchain technology can contribute to smart cities. *Financial Innovation*, 2(26), 1-9.
- Tian, F. (2017). A Supply Chain Traceability System for Food Safety Based on HACCP, Blockchain and Internet of Things. *14th International Conference on Services Systems and Services Management*. Dalian, China: International Conference on Service Systems and Service Management.
- Toyoda, K., Sasase, I., Ohtsuki, T. y Mathiopoulos, P. (2017). A Novel Blockchain-Based Product Ownership Management System (POMS) for Anti-Counterfeits in the Post Supply Chain. *IEEE Access*, 5, 17465-17477. doi:10.1109/ACCESS.2017.2720760.
- Turkanovic, M., Hölbl, M., Kosic, K., Hericko, M. y Kamisalic, A. (2018). EduCTX: A Blockchain-Based Higher Education Credit Platform. *IEEE Access*, 6, 5112-5126.
- World Wildlife Fund (2013). *Cutting Cotton Carbon Emissions: Findings from Warangal, India*. WWF Report. Recuperado de: http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/cotton_carbon_emission.pdf.
- Wu, H., Li, Z., King, B., Miled, Z. B., Wassick, J. y Tazelaar, J. (2017). A Distributed ledger for supply chain physical distribution visibility. *Information* 8(137), 1-18. doi:10.3390/info8040137.
- Xu, J. J. (2016). Are blockchains immune to all malicious attacks? *Financial Innovation*, 2(25), 1-9.

Yeow, A. (2018). Bitnodes. Recuperado de: earn.com: <https://bitnodes.earn.com/>.

Yeow, K., Gani, A., Rodrigues, J., Ahmad, R. y Ko, K. (2017). Decentralized Consensus for Edge-Centric Internet of Things: A Review, Taxonomy, and Research Issues. *IEEE Access*.

Zhang, J., Xue, N. y Huang, X. (2016). A secure system for pervasive social network-based healthcare. *IEEE Access*, 4, 9239-9250. doi:10.1109/ACCESS.2016.2645904.

URBAN LOGISTICS AND SPATIAL TERRITORIAL INTELLIGENCE INDICATORS: STATE OF THE ART, TYPOLOGY AND IMPLICATIONS FOR LATIN AMERICAN CITIES

Jesús González-Feliu

École des Mines de Saint-Étienne. Saint-Étienne, France
jesus.gonzalez-feliu@emse.fr

Abstract

This paper reviews the state of the art in spatial accessibility and attractiveness indicators for urban freight transport and logistics, from a territorial intelligence and analytics viewpoint. It proposes a first typology of indicators and analyzes their potential in Latin American urban planning and development. After presenting the main notions of business intelligence and analytics, as well as a definition of territorial intelligence and analytics, the paper proposes an overview of territorial intelligence indicators, focusing on accessibility and attractiveness indicators, and a typology of five categories of indicators: infrastructure-based indicators, generation-based indexes, distance/time/cost measures, gravity-based indicators and space-time compatibility indexes. Finally, the main issues for implementing such indicators are presented, in terms of data requirements and potential applications focusing on the Latin American context.

Keywords: urban logistics, territorial intelligence and analytics, spatial indicators, accessibility, attractiveness, data production

Resumen

Logística urbana e indicadores espaciales de inteligencia territorial: Estado del arte, tipología e implicaciones para ciudades de América Latina

El presente artículo presenta el estado del arte sobre indicadores de accesibilidad y de atraktividad espacial para el transporte de carga y la logística urbana, desde el punto de vista de la inteligencia y la analítica territorial. El artículo propone una primera tipología de indicadores, y analiza el potencial de su uso en la planeación y desarrollo urbano en Latinoamérica. Tras presentar las principales nociones de inteligencia y analítica de negocios, y proponer una definición de la inteligencia y analítica territorial, el artículo propone una visión de conjunto de los indicadores de inteligencia territorial, con un foco en los de accesibilidad y atraktividad, y una tipología con cinco categorías de indicadores: de infraestructura, de generación, de distancia/tiempo/costo, gravitatorios y de compatibilidad espacio-temporal. Finalmente, se presentan las principales cuestiones en la implementación de dichos indicadores, en términos de requerimientos en datos y de potenciales aplicaciones, con un foco en el contexto latinoamericano.

Palabras clave: logística urbana; inteligencia y analítica territorial; indicadores espaciales; accesibilidad; atraktividad; producción de datos

1. Introduction

Urban logistics is nowadays a central subject in both research and practice that involves different stakeholders and mobilizes various disciplines (Taniguchi and Thompson, 2015; Gonzalez-Feliu, 2018). In the last years, the subject has been of particular interest for Latin American cities (Holguin-Veras et al., 2018; Rojas Huérfano et al., 2018), not only as “learners” or “deployers” of solutions and actions already tested and validated in other countries (Barbero, 2010; Betanzo-Quezada and Romero, 2010) but also as promoters of innovation and R&D in the field (Blanco, 2014; Gonzalez-Feliu, 2018). Indeed, although urban logistics in Latin America has traditionally been seen as a question of implementing and adapting already mature solutions (Dablanc, 2011), with few experiences and deployment actions in the region (Bozzo et al., 2014), the trend is changing and Latin American countries are currently proposing innovations in city logistics, both at the research (De la Barra et al., 2012; Merchán, 2015; Montoya-Torres et al., 2016; Parra Herrera, 2017; Chicaiza-Vaca and Hidalgo-Carvajal, 2018) and practice level (Fontes Lima Junior et al., 2010; Lama More, 2010; Macário et al., 2011; Blanco et al., 2014; Fransoo et al., 2017).

Also in the industrial and distribution logistics fields, the application of decision-support tools is starting to be standardized and generalized at the Latin American level in various services and directions of companies (Padilla, 2006). Moreover, the notion of business intelligence and analytics is nowadays known in Latin American large and medium-sized companies (Sánchez Veas, 2004; Muller, 2007; Gonzales et al., 2015), although it is not systematically implemented and deployed (Coba et al., 2018).

On another hand, Latin American cities are known for having strong difficulties in terms of urban planning (Cabeza, 2002; Metzger et al., 2015; Alexandri et al., 2016). The inclusion of urban freight in urban plans and actions, which is imperative or at least strongly recommended in many countries of Europe and in the US (Gonzalez-Feliu, 2018), is not required in Latin American cities (Parra Herrera et al., 2017). Moreover, to include freight in urban plans, suitable indicators are needed. Thus, territorial intelligence and analytics, defined analogously to business intelligence and analytics, would add an important insight to urban planning, and allow freight to be correctly considered in urban planning and development actions. However, territorial intelligence and analytics remains as an emerging field, and freight transport is often not included in the proposed frameworks on the subject. Although some indicators and dashboards are proposed in the urban logistics literature (Melo and Costa, 2011; Gonzalez-Feliu and Morana, 2014; Morana and Gonzalez-Feliu, 2015), they are carrier-based and non-spatial explicitly in spatial indicators for urban freight, such as centrality, concentration, accessibility and attractiveness. Indeed, although proposed in research works, those indicators are not often used in urban logistics (Gonzalez-Feliu et al., 2018) since they are not always defined in the same terms and developed by different disciplines, as opposed to their analogous indicators for private transport. However, freight accessibility and similar indicators have a strong potential for urban planning (van Wee, 2016).

The aim of this paper is to present an overview of spatial accessibility and attractiveness indicators for urban freight transport and logistics, from a territorial intelligence and analytics viewpoint, as well as to address the main issues and implications for an application in Latin American cities' urban planning and development. First, the main notions of business intelligence and analytics and territorial intelligence are presented. A formal definition of *territorial intelligence and analytics* is proposed, as well as a brief overview of the main categories of indicators related to territorial intelligence dashboards. Then, the state of the art in accessibility and attractiveness indicators in terms of urban freight transport and logistics is presented, proposing the categorization of said indicators, and the main formulations for accessibility and attractiveness estimation. The paper includes five categories of indicators and seeks to synthesize the different research works on the field that have indicators being assimilated into attractiveness or accessibility measures, and dealing explicitly with freight transport in urban areas or the activities that generate those transport flows. Afterwards, the main issues for implementing such indicators, in terms of data requirements and potential applications, are addressed in a global perspective. Finally, and focusing on Latin America, the main implications for the deployment of a territorial intelligence analytics vision of urban freight transport planning and management are presented.

2. The potential and needs of an analytics-oriented territorial intelligence approach

2.1 From business intelligence and analytics to territorial intelligence analytics

Business intelligence (BI) is currently a main issue for companies around the world, and is also popular in research, especially in relation to decision and management sciences (Chen et al., 2012). Coined by Howard Dressner, analyst at the Gartner Group, in 1989 (Negash and Gray, 2008), it has become the dominant approach in company-based information business and management (Watson and Wixom, 2007; Turban et al., 2013). According to Negash and Gray (2008), business intelligence systems are computer-based systems that *"combine data gathering, data storage, and knowledge management with analytical tools to present complex and competitive information to planners and decision makers."* In computer-based environments, business intelligence uses large databases, typically stored in data warehouses, as main sources of information and the basis for sophisticated analysis, the so called "analytics", i.e. processes aiming at *"developing actionable insights through problem definition and the application of statistical models and analysis against existing and/or simulated future data"* (Cooper, 2012).

BI analytics tools are then based on data processing, statistics, artificial intelligence, combinatorial optimization and other advanced data production and analysis techniques to provide synthetic and "easy to visualize" results and indicators (Yogev et al., 2012). Those techniques are of a wide variety (Holsapple et al., 2014) and produce results

such as simple reporting, slice-and-dice, drill down, answering ad hoc queries, real-time analysis, and forecasting, among others (Negash and Gray, 2008). Nowadays, many vendors provide BI analysis (and analytics) tools, which have a main common reporting instrument: the dashboard (Negash and Gray, 2008). Dashboards, which are used in many business and management issues, are managerial tools that support effect change diagnosis and steering in companies through the introduction of a set of indicators (physical, economic and financial, environmental, social, and/or transversal, among others), and present, analogously to a car's dashboard, in a graphic and "easy to read" way (Kerzner, 2017). According to Bouquin (2001), dashboards display a small set of indicators (five to ten) to support managers' decisions by making them become aware of the status and evolution of the systems they are monitoring, as well as to identify the trends in the system's behavior on a horizon relevant to the nature of their functions.

Dashboards are used in various fields of business and commercial activities, and are a common instrument in logistics planning and management, not only for controlling and monitoring but also as a dialog tool among the different supply-chain stakeholders (Morana, 2014). In urban logistics, dashboards are starting to be deployed in a unified way (Gonzalez-Feliu, 2018), by adapting the indicators of sustainable supply-chain management (Morana, 2014) to the urban logistics context, and in an interactive and group-decision perspective (Morana and Gonzalez-Feliu, 2015), since various stakeholders are involved. Indeed, in urban logistics, both public and private stakeholders of different nature and with different goals and action scopes interact to deploy solutions, with the aim to improve the logistics activities of the cities, mainly in a sustainability perspective (Gonzalez-Feliu, 2018).

Private stakeholders such as transport carriers, logistics providers, wholesale grocery distributors, and most shippers are used or are starting to be used as BI tools, at least in Europe and the USA¹. They may have the potential in Latin America², for example, to support the development of Sales and Operations Management approaches in import-export companies (Padilla Solís, 2014). The deployment of such systems on retailers, mainly on nanostores (Fransoo et al., 2017), seems to be more difficult, as well as the introduction of BI tools to support public authorities' management decisions,

1 Purposes given as a conclusion of a series of interviews granted to private companies in Europe between 2017 and 2018 (related to the ANNONA project financed by the French Agency of Research), and a private conversation with professors Eiichi Taniguchi, José Holguín Veras, Ron van Duin, and Jesus Muñozuri in 2016 (during the ILS and VREF conferences).

2 Private conversations with logistics experts in Colombia and Peru in 2017 and 2018 showed that the field of BI remains preliminary in small companies, but its deployment has a non-negligible level of maturity in big companies in Latin America. However, most small logistics operators showed an interest on those systems.

mainly related to urban logistics (Parra Herrera et al., 2017), which remain far from a BI logic. Anyway, in all cases, they seem to be favorable to the deployment of dashboards concerning urban logistics (Gonzalez-Feliu and Morana, 2014), although the definition of indicators and the decision-support systems that can be implemented for this purpose remains as a challenging research subject (Palacios-Argüello et al., 2016). Moreover, communication among all involved stakeholders in urban logistics (and more generally in urban transport) is essential to reach consensus and deploy satisfactory solutions that are sustainable and viable in a long time perspective (Ville et al., 2013).

At the land-planning level, the notion of territorial intelligence (TI) was defined in 1999 as *“a means for the researchers, actors and territorial community to acquire a better knowledge of the territory, but also to better handle its development”* (Girardot, 2000). The main aim of TI, according to its initial definition, was to support territorial stakeholders (mainly belonging to local public administrations) to first understand the dynamics of their territory, and then plan, define, develop, and evaluate the policies and the actions of sustainable territorial development. Girardot (2009) links the notion of TI first to sustainable development and then to a whole range of multidisciplinary knowledge in the field of territory knowledge, territorial governance and territorial engineering (Chiasson et al., 2014; Barles, 2018). TI seems to remain mainly related to research (Bertacchini, 2004; Hebraux and Masselot, 2007; Bertacchini et al., 2007; Dumas et al., 2007; Crozet et al., 2012). Indeed, as opposed to BI which was created in the business context, TI is a notion generated in research (mainly associated to geography, planning and development) without an explicit link with analytics, and has difficulty to be appropriate in public administration practices without a strong support of research communities. However, various applications in the practice field using GIS and spatial statistics for planning purposes (Antoni, 2016) are close to what TI aims to address without using explicitly that term. Anyway, the notion of analytics and the use of BI techniques, mainly dashboards and data storage and processing capacities, are still not clearly formalized in classical TI approaches. These remain relying mainly on Geographic Information Systems (GIS) to visualize the information; however, they do not use, at least in a generalized way, advanced computing and analytics techniques (Hegron and Haxaire, 2012; Bertacchini and Desprez, 2016).

Finally, we observe that, if BI is mainly related to business management systems (BMS) and relies on computer science and data processing and analysis techniques, TI is systematically associated to GIS and is mainly related to geography and planning studies. However, in order to provide tools that are used by both planners and logistics managers, and feed debate and understanding (and then consensus) among all those stakeholders, the combination of BI tools with the logic of TI will lead to a powerful, reliable set of tools that is, at the same time, deployed in daily operations (on business side) and interact with land-planning actions (more often at middle- and/or long-term horizons, mainly on territorial side).

For those reasons, it seems important to us to define territorial intelligence analytics as the (until now) missing link between BI and TI, which will then belong to both. In other words, we can define *Territorial Intelligence and Analytics* as the set of tools that combine data gathering, data storage, and knowledge management with analytical tools to spatially present complex and competitive information to planners and decision makers in terms of territorial decisions, and feed the interactions between planners and operational managers.

Territorial intelligence analytics tools will then rely on GIS not only to visualize information but also to retrieve and process it. Databases and data warehouses will then contain detailed spatial (mainly geolocated) information, and reconstitute aggregated indicators not at an individual or service level (like in classical BI systems) but at a zone or city level. As in BI and TI classical approaches, dashboards appear to be the most reliable and transferable output of territorial intelligence analytics.

Said dashboards need to be spatial-based, *i.e.* they are projected into a cartographic and/or zonal file. Moreover, they rely on a series of spatially-represented indicators. Some of them already exist in classical TI approaches, but others are less known at least in urban logistics. For that reason, we present hereinbelow an overview of those indicators by category, first in a general way and then focusing on urban logistics applications.

2.2.2 Main types of indicators in territorial intelligence analytics

According to the statements and definitions explained in the previous section, and analogously to business intelligence analytics and territorial intelligence indicators (from a land-planning viewpoint), we can distinguish three main categories of indicators that would be considered in territorial intelligence and analytics. These categories can be defined based on the principles of TI (which follow sustainable development issues) from a more spatial and territorial viewpoint (Masson and Petiot, 2012). As said above, territorial information systems would consider to include those categories of indicators synergically, and deploy them using spatial representations (mainly via GIS) to address the various stakeholders susceptible to use them. The main categories of indicators can be derived from the three spheres of sustainable development, which are also used in sustainable supply chain management and sustainable urban logistics decision support (Morana, 2014; Gonzalez-Feliu, 2018):

- Economic indicators will account for economic (and socio-economic) issues of the territory.

- Environmental indicators will show the impacts of land use and territorial development in natural resource consumption, climate change, and environmental issues.
- Socio-spatial indicators will address socio-demographic issues, as well as inequalities among populations related to territorial decisions and actions.

We present below a brief description of each category, and show the main indicators used in urban logistics related to territorial intelligence and analytics.

2.2.1 Economic indicators

Whereas in business intelligence the main economic indicators will focus on sales, income, margins, and stocks, among others (Chissera et al., 2018; Laursen and Thorlund, 2016), main economic indicators in territorial intelligence address spatial economics issues (Dima, 2016; Kourtit and Nijkamp, 2018). For those reasons, socio-demographic indicators (characterizing the population and the employments) are mainly used (Kourtit and Nijkamp, 2018). Land use costs (primarily acquisition or rental), population income, or investment costs of infrastructures and services can also be used (Dima, 2016). In general, territorial intelligence analytics will use socio-economic indicators, integrating at the same time an economic and social dimension (Barrientos et al., 2018).

Concerning urban logistics, the main indicators used in both research and practice, from a territorial intelligence analytics viewpoint, are related either to the cost of zonal logistics activities or to the characteristics that have an impact on logistics demand generation (see section 3.3 for more information, since those elements can be related to attractiveness and accessibility), such as the number of establishments or employments (Holguín-Veras et al., 2018).

Other indicators that can be defined at a spatial level are congestion levels, number of vehicles (by type), with their respective average loading rates and use rates of warehouses and platforms, among others (Melo and Costa, 2011; Gonzalez-Feliu, 2018).

Table 1. Main economic indicators for urban logistics in a territorial intelligence analytics perspective (author's elaboration from works cited above)

Impact subcategory	Impact indicator	Unit ³
Flow intensity	Road occupancy rates	Km vehicle CEU ⁴
	Freight flow intensity	Tons km
	Number of vehicles (per type)	Vehicles (per type) or CEU
Time	Total transport times	Hours
	Total stop times (road occupancy by stopped vehicles)	Hours vehicle CEU
Cost	Transport cost of considered routes	€, \$, other monetary value
	Land use costs	€, \$, other monetary value

2.2.2 Environmental indicators

Main environmental indicators are related to either global warming or pollution. Global warming indicators are often expressed in greenhouse gas emissions (GHG emissions) in kg or tons of CO₂ equivalent (Dodman, 2009). They are generally non-spatial since global warming is counted at a general scale (related to a city or area), but can be represented at a zone level to show which are the zones that produce more GHG emissions (Guzmán-Jiménez et al., 2014). Moreover, GHG are commonly related to an activity of the city, like household (primarily related to heating and energy consumption), industry, retailing and service activities, transport (private and/or freight transport), etc. A similar reasoning is shown for energy consumption and pollution emissions, which can be related to the potentially-polluted environment, *i.e.* water, soil or air, and represented either by the producing source or the main deposit zone of that pollution. Different pollutants can be estimated (Norman et al., 2006; François, 2015) and, in that case, indicators are also declined by activity or product.

In all instances, different approaches for estimating pollution can be observed. In general, two main categories of approaches are used: direct emission models and methods aimed to estimate the environmental impacts directly generated by a system, and lifecycle analyses that propose to examine the lifecycle of a product or process to estimate both direct and indirect impacts (Norman et al., 2006; Andriankaja et al., 2015). The main environmental indicators that can be used in urban logistics from a territorial intelligence analytics viewpoint are reported in table 2.

3 Indicators are presented at a zone level and mainly cartographically when dealing with territorial intelligence and analytics.

4 Car equivalent unit on the following basis (Gonzalez-Feliu, 2018): 1 private car or van = 1 ECU, 1 light commercial vehicle = 1.5 ECU, 1 single truck = 2 ECU, 1 articulated truck = 2.5 to 3 ECU.

Table 2. *Main environmental indicators for urban logistics from a territorial intelligence analytics perspective (adapted from François, 2015 and Andriankaja et al., 2015.)*

Impact indicator	Unit	Substances
Global warming emissions	kg CO ₂ eq.	All greenhouse gases
Terrestrial acidification emissions	kg SO ₂ eq.	NH ₃ , SO ₂ , NO _x
Photochemical oxidant formation index	kg NMVOC eq.	Non-methane volatile organic compounds (NMVOC)
Particulate matter formation index	kg PM10 eq.	PM, SO ₂ , NO _x , NH ₃
Fossil depletion potential	kg oil eq.	Coal, gas, oil
Metal depletion potential	kg Fe eq.	All metals
Energy consumption indicators (fossil and renewable)	MJ eq. (fossil)	Coal, gas, oil, nuclear, wood
	MJ eq. (renewable)	Hydro, wind, geo, solar, biomass

2.2.3 Social and spatial indicators

Pure social indicators are the less developed ones in territorial intelligence, since most social issues are generally related to economic (as said above, various economic indicators address socio-economic issues) and/or environmental impacts (for example, employment changes, congestion or noise), or they present as qualitative issues (such as life quality or inhabitant satisfaction, among others). However, other socio-economic issues can also be addressed via spatial indicators, such as inequality, accessibility, attractiveness or resilience (Metzger et al., 2015). Those specific socio-spatial issues, although very popular in private transport and land planning (Antoni, 2016), remain unused for urban logistics, at least when dealing directly with territorial intelligence analytics.

However, measures and indicators that can be assimilated to accessibility and attractiveness are commonly used in other fields and with other uses. Indeed, the literature has a plethora of works and examples using indicators related to urban freight transport and logistics that either are defined as accessibility measures or represent that accessibility. However, it is difficult to identify and characterize them since they belong to different disciplines and applications. For that reason, we propose in the next section an overview of freight accessibility indicators with an urban and/or periurban scope.

3. Accessibility-based spatial indicators for urban logistics territorial intelligence analytics

The notion of accessibility is widely used in transport planning and urban development, at both research and practice levels. Moreover, it can also have industrial applications

(Gonzalez-Feliu et al., 2018). Accessibility is defined by Geurs and van Wee (2004) as *“the extent to which land-use and transport systems enable individuals to reach destinations by means of a transport mode,”* and remains, at least in transport and land planning, mainly related to private transport (van Wee, 2016). However, specific freight accessibility is not only a challenging subject in research but has real applications and issues in practice (van Wee, 2016). Despite this, the literature in urban studies (the main field addressing accessibility) has few works addressing freight accessibility explicitly. However, works proposing indicators that represent that accessibility can be found in various disciplines but, since they do not use the same terms and notations, such analyses are not always identified and related to freight accessibility.

We present herein a first attempt to systematically show the main approaches to define accessibility and attractiveness indicators from different viewpoints and perspectives. Attractiveness can be defined as a reciprocal measure to accessibility: according to Gonzalez-Feliu and Peris-Pla (2017), attractiveness can be defined as the measure *“that estimates the ability of people and/or goods to reach a given destination from each possible origin.”* In other words, if accessibility is observed for each origin, attractiveness is observed for each destination. Due to these reasons, we can mainly use the same approaches to define either attractiveness or accessibility; the difference will lie on the aggregation focus: the origin of trips for accessibility, and the destination for attractiveness.

The main issue of a good indicator (from a problem-solving viewpoint, Ackoff, 1977) is to represent the suitability of this ability to reach (a destination) or be reached (from an origin). We have observed in the literature a variety of indicators and approaches. To propose a categorization, we start by examining how private transport accessibility has been defined and organized, since it is a field with more than 50 years of existence (van Wee, 2016). Private transport accessibility indicators are in general divided into three main groups (Gonzalez-Feliu et al., 2014b):

- Infrastructure (or service) indicators state at the service level related to a transport infrastructure. The main examples of infrastructure-based accessibility indicators are congestion levels and average travel speeds on a road network (Geurs and van Wee, 2004), and are related to traffic analyses. Although traffic analyses can explicitly integrate freight flows, they remain being oriented to private transport with respect to service-level measures.
- Location-based measures describe the level of accessibility to spatially distributed activities. Two main groups of indicators can be distinguished in this category: distance-based indicators (Ingram, 1971; Pirie, 1979) and gravity accessibility measures (Stewart, 1947; Hansen, 1959).
- Person-based measures define accessibility at the individual level (Burns, 1979). Such indicators can be derived from space-time geography theory (Hägerstrand,

1970; Miller, 1999; Recker et al., 2001) or be based on the concept of utility (Ben-Akiva and Lerman, 1979; Martinez, 1995). Geurs and van Wee divide this category in two but, since those indicators are person-based and related to behavior and/or time budget issues, they seem not suitable for an adaptation to freight.

Freight accessibility is less standardized in research than accessibility related to private transport (Gonzalez-Feliu, 2012), with few works being appointed in general accessibility reviews (Geurs and van Wee, 2004; van Wee, 2016). Indeed, although works of different nature and disciplines address freight accessibility (Gonzalez-Feliu, 2012), they remain unknown for transport and land use stakeholders (van Wee, 2016). However, the inclusion of freight in accessibility has recently been appointed as necessary and having a strong potential for future works (van Wee, 2016; Gonzalez-Feliu et al., 2018a, 2018b).

To examine how those indicators can be deployed in urban logistics, we followed a document selection and analysis method based on the lexical-metanarrative literature review framework of Gonzalez-Feliu (2013). We started from a core set of papers (issued from the main references on freight accessibility cited by Gonzalez-Feliu, 2012 and van Wee, 2016, as well as from papers issued after a keyword-based search on Web of Science, Scopus, and Google Scholar⁵).

Then, via snowballing techniques and exchanges with researchers working in the fields of urban planning, transport, and logistics, other papers which address the notions of urban freight accessibility and attractiveness were selected. To that end, the main metanarratives followed the notion of freight accessibility (and freight attractiveness) as defined above. In other words, papers addressing measures related to those definitions, even not using those terms, were selected. Synonymous notions such as centrality, concentration, catchment area, attraction, production, or logistics potential were considered to select papers and works. Later, a first set of indicators could be related to urban freight accessibility and attractiveness, and a second round of document search was made, mainly using citations of citations and Google Scholar on precise terms that follow the considered metanarratives. It is important to note that, as opposed to other systematic literature review techniques, this method is not limited to documents on a database, but extends the search to most research documents including grey literature (Gonzalez-Feliu, 2011, 2013). Finally, 124 documents were selected: 52 research papers published in peer-review journals, 5 literature review papers published in peer-review journals, 28 conference papers, 9 scientific books, 11 book chapters, 4 PhD

5 The terms used for the keyword-based search were “freight accessibility” AND urban; “freight attractiveness” AND urban; “freight transport” AND accessibility AND urban; “freight transport” AND attractiveness AND urban. According to the metanarrative literature review methodology (Gonzalez-Feliu, 2011), a pre-selection of those papers is made by verifying that the main scope of the paper is related to that of the literature review, i.e. that the papers address issues of spatial accessibility and attractiveness regarding freight transport in urban areas.

theses, and 15 other grey literature documents (3 Master's theses, 8 research reports, and 4 communications from invitations to conferences and seminars).

From those works, we observe that the terms and notations used in the definition of accessibility and attractiveness indicators are different and obey to disciplinary issues. However, a typology of indicators can be defined, grouping them by their similarity in terms of the physical notion used to define accessibility and the variables used to explain it.

Therefore, we propose a typology of accessibility (and attractiveness) indicators that define 5 categories of measures:

- Infrastructure or service level indicators
- Freight generation-based indicators
- Distance and cost accessibility indicators based on route construction
- Gravity indicators
- Compatibility accessibility measures

3.1 Infrastructure or service level indicators

Infrastructure accessibility indicators measure the service levels of infrastructures; and, in the case of freight indicators, they need to refer explicitly to goods transport and logistics activities. Since we can define two types of infrastructures (Gonzalez-Feliu et al., 2014a), *i.e.* nodal and linear (or edge-based), we can expect two types of infrastructure freight accessibility. Nodal accessibility will refer to nodal infrastructures, *i.e.* logistic platforms and terminals, as well as loading/unloading area availability and capacity. Edge accessibility will refer to linear (or edge) infrastructures, *i.e.* roads, railways and fluvial lines, and will define capacities and service levels. Since roads (and streets) are in general used for private transport, public (or collective) transport of people, and freight/goods transport, it is difficult to propose a "unique private transport" or a "unique freight transport" indicator. Nevertheless, we can define person-oriented or freight-oriented indicators, *i.e.*, those which focus on one of the two main segments of urban transport.

3.1.1 Nodal indicators

Nodal indicators are the most difficult to identify, since they are not generally presented under the banner of "accessibility". However, service levels and capacities of logistics infrastructures can be accessibility indicators, mainly when presented in a spatial form. Those capacity and service indicators are often shown at an individual level or for interurban and international transport (Liu and Ma, 2005; Li et al., 2015).

However, logistics capacities can be estimated at a zone level for cities (Avelar-Sosa et al., 2014), generating a first nodal accessibility indicator (the logistics capacity of a zone can be a proxy variable of the accessibility of its logistics infrastructure).

Another indicator related to accessibility is that of the delivery space capacity and availability. Delivery bay capacity and availability indicators are needed in practice, mainly for delivery area planning (Dablanc and Beziat, 2015). Some public authorities conducted studies to define the needs of delivery bay resources (via freight trip generation or FTG models, Holguín-Veras et al., 2012, Gonzalez-Feliu, 2018), estimating the current capacity and determining a service level of delivery bays (CERTU, 2009). However, most works related to delivery bay planning are based on logistics organizations and routing/fleet management issues (Patier et al., 2014; Comi et al., 2017), and not on bay capacity and service level, which is essential to make new projects of this nature be economically viable (Gonzalez-Feliu et al., 2013a, 2014c). However, some works deal with the spatial clustering of areas to define the “service level” and capacity of the delivery bay system of a city or conurbation (Magniol et al., 2018).

Service levels of logistics infrastructures (Rafele, 2004), expressed in terms of service key performance indicators or KPI (Morana, 2014), can also be considered as accessibility indicators, although to the best of our knowledge they remain related to individual logistics platforms or plants, or are aggregated at a regional or national level (Yang et al., 2009). Anyway, this type of indicators seems suitable to be adapted to periurban or urban zones in order to define a service-level nodal accessibility indicator.

3.1.2 Edge indicators

Edge indicators can be related to road, fluvial or railway infrastructures (air and sea are not examined herein since we focus on urban and periurban areas, and they would be considered in a general freight accessibility for interurban and international transport). However, fluvial and rail capacity estimation in urban areas remains little studied, but methods to estimate the capacity (in the number of vehicles or available travel times) of railway (Pavone, 1997; Laroche, 2014; Troch et al., 2017) and fluvial (Lendjel and Fishmann, 2014) infrastructures can be determined at an urban, periurban or local (*i.e.* less than 150 km from main cities) level when it relates to urban logistics. In general, capacity estimation of such infrastructures is deterministically or probabilistically expressed in the number of vehicles (by time interval) that can circulate on those infrastructures (de Kort et al., 2003; Abril et al., 2008). This is inferred knowing that, as opposed to roads where the use of the infrastructure is open and submitted to equilibrium principles, the use of the

infrastructure in railways is regulated (Laroche, 2014). Fluvial infrastructures follow a mixed logic, with main flows being regulated. However, touristic and private transport flows can enter the system but remain in the minority in most cases). Road accessibility indicators are mainly related to network load and capacity (so to road service levels). Capacity indicators are related to road planning and dimensioning, and are primarily used to define the limits and needs of transport planning and management actions linked to master plans or transport-land use actions (Yachiyo Engineering Co. Ltd. and Pacific Consultants International, 2005).

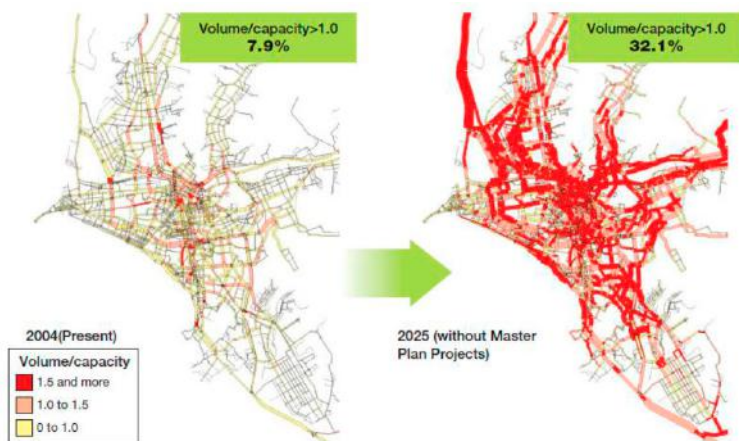


Figure 1. Volume/capacity ratio of road infrastructures for the city of Lima in 2004 and forecast for 2025 (Yachiyo Engineering Co. Ltd. and Pacific Consultants International, 2005)

Service level indicators derive from traffic dynamics and analysis, but we present herein the works which explicitly consider trucks in the definition of indicators (Chiabaut et al., 2015), with the aim of considering the inconvenience caused by freight vehicles in double parking (Chiabaut et al., 2016; Lopez et al., 2016; Lopez, 2017), or the difficulties of accessing to urban highways and high-capacity road infrastructures (Wang et al., 2016). Those works propose in general an adaptation of macroscopic flow diagrams to include truck traffic and truck impacts in general traffic. They indicate the traffic load, and indirectly the travel speed, related to double-line parking of trucks and/or the congestion caused by those trucks when they are in difficult maneuver situations related to road capacity reduction (in number of lines) or access (crossroads, intersection lines, road accesses) to those infrastructures. Other aggregated indicators are those of average congestion reported on a dashboard perspective (i.e. in a color code from “very good” to “very bad”), and according to the number and type

(in terms of capacity) of the road infrastructures. Said accessibility can then be grouped by zones using, for example, clustering techniques to identify homogeneous zones in terms of traffic congestion (Metzger et al., 2015; Lopez, 2017).

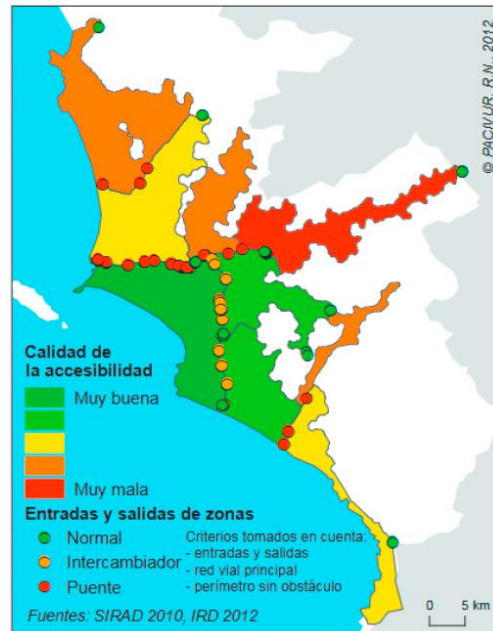


Figure 2. Service level edge accessibility (related to congestion and capacity of road infrastructures) for the city of Lima in year 2010 (Metzger et al., 2015)

Finally, a simple and “easy to assess” edge indicator is that of average (or geometric mean) speeds of infrastructures (Pluvinet et al., 2012), by infrastructure type, obtained empirically from survey data (Ségalou et al., 2004; Béziat, 2017), and from GPS data collection procedures (Gonzalez-Feliu et al., 2013b). It can also be estimated via modeling techniques and/or probabilistic estimation (Wang et al., 2016, 2017), among others.

3.2 Freight generation determinants and rates as an accessibility indicator

An interesting indicator that can be related to attractiveness is that of the potential of a zone’s logistics demand, which can be defined by a logistics demand index (Zhao, 2010), or more generally that of logistics demand generation rates, since zones of higher demand may be considered more attractive zones for logistics purposes. Whereas infrastructure-

based indicators show capacity or service levels (in other words, they characterize the logistics supply of spatial areas), indicators presented in this category characterize demand as an attractiveness measure. Logistics demand can be expressed in terms of freight quantities to be shipped/delivered (Cai and Chen, 2004), number of shipments or deliveries (Guilbaut and Gouvernal, 2010), or number of trips (Holguín-Veras et al., 2011). In general, the last two may be directly related (Gonzalez-Feliu, 2019).

Freight trip and freight generation can be defined at the level of inbound trips (*i.e.*, only receptions or deliveries represented in attraction models), outbound trips (pickups or expeditions, represented in production models), or both types of flows together (without distinguishing them). Those estimations can also be considered as a nodal accessibility measure or zonal accessibility measure, when defined in zones. For that purpose, Holguín-Veras et al. (2018) perform an international comparison of cities based on freight trips, showing that this type of measures may be a good proxy of accessibility (or attractiveness) to compare cities and areas in terms of logistics needs and opportunities. Other works propose a spatial view of freight generation and freight trip generation, defining zone profiles in terms of freight needs (Lawson et al., 2012; Sanchez-Diaz et al., 2013; Ducret and Gonzalez-Feliu, 2016; Gonzalez-Feliu and Peris-Pla, 2017).

At an individual level, freight trip generation rates T_{ij}^k of establishment j belonging to class k and in zone i are mainly defined as follows:

$$T_{ij}^k = f^k(Emp_j; Area_j)$$

Where Emp_j and $Area_j$ are respectively the number of employees and the area of establishment j .

In the same way, the freight generation rates of establishment j belonging to class k and in zone i are mainly defined as follows:

$$Q_{ij}^k = f^k(Emp_j; Area_j; Revenue_j)$$

Where $Revenue_j$ is the total income of establishment j . The functions can be linear or non-linear, and each function is specific for a category. In other words, the variables and functional forms are different for each category (Gonzalez-Feliu and Sanchez-Diaz, 2018a)

At a zone level, we can estimate the FTG and FG rates by aggregation of individual rates, *i.e.* of trips generated by each establishment. In other words, given a zone i , the number of freight trips T_i and the freight quantity Q generated by the zone can be estimated as follows:

$$T_i = \sum_{k=1}^m \sum_{j \in V_i^k} T_{ij}^k = \sum_{k=1}^m f^k(Est_i^k; Emp_i^k; Area_i^k)$$

$$Q = \sum_{k=1}^m \sum_{j \in V_i^k} Q_{ij}^k = \sum_{k=1}^m f^k(Est_i^k; Emp_i^k; Area_i^k; Revenue_i^k)$$

Where V_i^k is the set of establishments of category k in zone i , and T_{ij}^k is the number of freight trips of establishment j belonging to set V_i^k ; Est_i^k , Emp_i^k , $Area_i^k$ and $Revenue_i^k$ which are respectively the number of establishments, number of employees, total area, and total revenue of all establishments of category k inside zone i . In other words, demand attraction indicators can be defined either at an individual level and then at a zone level via aggregation, or specifically with zonal models.

A basic accessibility or attractiveness indicator derived from freight or freight trip generation is issued from the normalization of zonal FTG or FG rates, estimated analogously to the basic measure of centrality in real estate studies (Kauko and d'Amato, 2009). Given an urban area UA divided in zones, the generation-based relative accessibility or attractiveness A_i of zone i can be then formalized as follows:

$$A_i = K \cdot \frac{FTG_i}{\text{Max}_{i \in UA}(FTG_i)} \text{ in terms of freight trips}$$

Or

$$A_i = K \cdot \frac{FG_i}{\text{Max}_{i \in UA}(FG_i)} \text{ in terms of commodity quantities}$$

Where FTG and FG are estimated as shown above: when using FTG or FG rates, this indicator considers both attracted and produced trips (and freight quantities). Note that FTG can be replaced by FTA (in this case, the indicator will be attractiveness) or by FTP (for a pure accessibility indicator).

Another interesting indicator is the density of freight trips (or deliveries) or the freight generation density, obtained respectively by reporting FTG and FG rates to each zone's surface (or area):

$$D_i^{FTG} = \frac{FTG_i}{S_i} \text{ or } D_i^{FG} = \frac{FG_i}{S_i}$$

Where S_i is the surface (or area) of zone i . As for the previous indicator, this density can be estimated in terms of attraction (FTA, FA), production (FTP, FP) or combined (FTG, FG) rates.

A more advanced indicator which can also be associated with generation-based accessibility and attractiveness, although not initially proposed for this purpose, is that of concentration of industrial and logistics activities (Marcon and Puech, 2009). Indeed, since freight-intensive sectors like industry, wholesaling and logistics result in high-logistics needs (Holguín-Veras et al., 2018), defining a measure of concentration can lead to a suitable attractiveness or accessibility indicator in urban logistics. Said concentration can be measured as the proportion of such activities within a sector, where distance is smaller than a given threshold of the same proportion in the entire urban area, and can take different forms (Ripley, 1977; Marcon and Puech, 2003; 2009; Duranton and Overman, 2005, 2008). The concentration index Con_r^S of industrial and logistics activities in sector r (with respect to a threshold r) can be formalized as follows:

$$Con_r^S = \frac{P(|x_i^S - x_j^S| \leq r)}{Den(N, N^S)}$$

Where $P(|x_i^S - x_j^S| \leq r)$ is a probability (or statistical density) function defining the proportion of couples of activities in sector S , in which distance is smaller than r , and $Den(N, N^S)$ is a density function of the number of activities N^S in sector S , and the total number of activities in the given urban area is N . Those functions can take various forms and involve eventually other variables (Marcon and Puech, 2009).

3.3 Distance, time and cost accessibility indicators based on route construction

In this third category, accessibility is seen as the “cost” of reaching a zone (for freight transport purposes) from another zone of a city. To that end, three measures can be identified and used:

- Travel distance, either in an interzonal linking logic or from a route viewpoint.
- Travel or transport time, including or not loading and unloading service time.
- Transport cost, from a freight-transport viewpoint.

The most common and traditional indicator, as in private transport, is distance, which associates in each zone the average distance with a logistics service (Thomas et al., 2003; Rodrigue, 2004; Bowen, 2008; Rodrigue and Notteboom, 2010; Dablanc and Rodrigue, 2014). A variant of that indicator is the application of time accessibility indicators to logistics platforms (van der Heuvel et al., 2014). Accessibility indicators of this type mainly have the following form:

$$A_i = \text{Average} (X_{ij})$$

or

$$A_i = \text{Min} (X_{ij})$$

Where X_{ij} is a variable that measures the gap (in terms of distance, time or cost) between zone i and any logistics service j . Those accessibility measures can also be reported from a spatial dashboard viewpoint (i.e. by reporting various accessibility classes, from low to high values, in a map in various spatial representation ways).

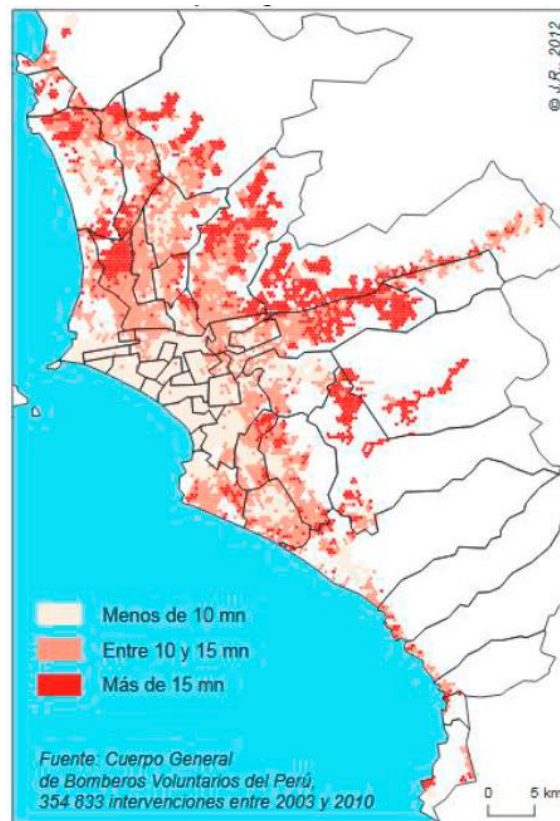


Figure 3. Firemen accessibility (in categories of travel time) in the city of Lima (Metzger et al., 2015)

Gonzalez-Feliu and Salanova Grau (2014) and Gonzalez-Feliu et al. (2014) propose an alternative indicator which is based on the estimation of routes (and not on the basis of direct transport between centroids as in other methods) to calculate travel distance

and costs, and then estimate an accessibility indicator which is in general inversely proportional to those distances (Gonzalez-Feliu and Salanova Grau, 2014) or costs (Gonzalez-Feliu et al., 2014b). The distance (or cost) accessibility A_i of a zone i can be determined as follows:

$$A_i = f(dr_i; tr_i)$$

Where dr_i is the total traveled distances of routes traveling and/or delivering inside zone i , and tr_i is the total transport time (including both travel and service times) of routes acting inside zone i . Then, those distances can be estimated in two main ways (Gonzalez-Feliu, 2018):

- In a disaggregated way, via vehicle routing approaches (Cattaruzza et al., 2017) or microsimulation (Wisetjindawat and Sano, 2003).
- In an aggregated way, either using analytical models (Daganzo, 2005; Combes, 2016) or empirical approaches (Gonzalez-Feliu and Morana, 2014; Gonzalez-Feliu and Battaia, 2017).

3.4 Gravity indicators

Gravity-based accessibility is one of the most popular accessibility indicators in private transport (Geurs and van Wee, 2004), and remains as one of the most promising indicators also for freight transport in urban areas (Helling, 1998; Crainic et al., 2010; Gonzalez-Feliu, 2012; Giuliano et al., 2016; Gonzalez-Feliu et al., 2018). Gravity accessibility is defined, from the seminal work of Hansen (1959), analogously to gravity models and can mainly take two functional forms: a potential or an exponential one. The potential accessibility index can be defined as follows (Giuliano et al., 2010):

$$A_i^P = \sum_{j=1}^n O_j \cdot f(c_{ij})$$

Where O_j is the opportunities to reach the zone of destination j .

c_{ij} is the cost of reaching zone j from zone i .

$f(c_{ij})$ is an impedance of c_{ij} .

Other functions of cost c_{ij} can be defined analogously to gravity models:

$$A_i^P = K \cdot \sum_{j=1}^n O_j \cdot c_{ij}^{-\alpha}$$

Where O_j is the opportunities to reach the zone of destination j .

c_{ij} is the cost of reaching zone j from zone i .

β is the impedance parameter defined empirically or analytically.

K is a constant.

$$A_i^E = K \cdot \sum_{j=1}^n O_j \cdot e^{-\beta d_{ij}}$$

A variant of the potential accessibility is that of the exponential accessibility, defined for urban goods transport as follows:

Where O_j is the opportunities to reach the zone of destination j .

c_{ij} is the cost of reaching zone j from zone i .

β is the impedance parameter defined empirically or analytically.

K is a constant.

The opportunities are related to the demand of logistics services (in general delivery or pickup needs) and can be related to freight quantities to deliver (Gonzalez-Feliu, 2008b, 2012; Crainic et al., 2010) to the number of establishments (Giuliano et al., 2016) or to the employment at the destination zone. Costs can be defined in terms of Euclidean distance (Crainic et al., 2010), average travel distance (Gonzalez-Feliu, 2018), peak travel time (Helling, 1998), generalized travel time (Gonzalez-Feliu and Mercier, 2013) or travel cost (Gonzalez-Feliu, 2019).

3.5 Compatibility and flexibility accessibility measures

Although personal measures seem not suitable for freight accessibility (since freight flows are organized in routes and schemes that imply systematic behaviors and choices related directly to the modes of management and of distribution for given commodities), it is possible to define indicators that associate space and time, not in terms of proximity but in terms of compatibility. Indeed, two close zones cannot be compatible for freight delivery purposes if time restrictions are applied to them, and travel times between them do not allow satisfying all deliveries in both zones (Gonzalez-Feliu, 2008a).

Some measures of compatibility in freight transport have been defined, which are mainly related to vehicle routing (Toth and Vigo, 2014; Cattaruzza et al., 2017) or driver scheduling optimization (Fischetti et al., 2001). The compatibility between two delivery requests R_i and R_j (required in a fixed location at given time intervals) can be defined as a binary attribute with

a value that equals 1 if a feasible route that visits the destination point of request R_i before serving request R_j exists; otherwise, it takes the value of 0 (Fischetti et al., 2001). This attribute may support identifying which request R_i can be served consecutively or not before request R_j with the same vehicle, but remaining as an individual measure in relation to a single route and/or vehicle. Amico (2005) extends this notion into that of compatibility time interval (CTI) of a pair of requests R_i and R_j , defined as the interval between the earliest arrival time and the latest arrival time at R_i to deliver consecutively R_i and R_j in this order. Three stages can be defined regarding compatibility between two requests R_i and R_j (Gonzalez-Feliu, 2008a):

- Pair compatibility, when both R_i and R_j can be delivered without waiting time.
- Early incompatibility, when both R_i and R_j can be delivered but the vehicle arrives to location j too early to deliver, so it needs to wait or include other deliveries between R_i and R_j .
- Late incompatibility, when if R_i is delivered, the vehicle arrives too late to location j , so it cannot deliver R_j .

Finally, various aggregates can be defined from individual compatibilities to define zonal indicators, like average values of each of those three compatibilities and incompatibilities (Amico, 2005) or more advanced indicators (Deflorio et al., 2012). Some of them are:

Average Compatibility Time Interval (ACTI), which represents the average value of all the positive pair compatibilities, and contains also a CTI from and to the depot (Amico, 2005):

$$ACTI = \frac{\sum_{CTI_{A/B} > 0} CTI_{A/B}}{n_S^+}$$

Percentage of positive compatibilities in a zone (PPC, as in Amico, 2005):

$$PPC = \frac{\text{number of positive } CTI_{A/B}}{\text{number of elements in } RCM} (\%)$$

Average of the Minimum Time Between each request A and any Compatible Request B (AMTBCR, as in Deflorio et al., 2012):

$$AMTBCR = \frac{\sum_A \min_{CTI_{A/B} > 0} (t_{AB})}{n_R}$$

ACTI quantifies the average compatibility time intervals between the requests, PPC shows the proportion between positive and negative compatibilities, and AMTBCR gives

an estimate of the time required to connect two requests in a plan. Those indicators based on the compatibility are calculated for pairs of requests, so they give an initial idea of how the request configuration fits on the network features.

Other indicators related to time access restrictions are also defined in the literature, mainly in terms of cost or distance indicators (which would be classified into the category of cost accessibility), such as in Quak and De Koster (2009), and Muñuzuri et al. (2013), or distance indicators, such as in Gonzalez-Feliu et al. (2015).

4. Deployment of accessibility indicators in territorial intelligence analytics: Implications for Latin America

4.1 Implementing urban freight accessibility and attractiveness indicators in a territorial intelligence analytics perspective

We have seen above that freight accessibility and attractiveness indicators can take different forms and will then need processed data. Those indicators have different uses, related to the stakeholders, planning horizons, and data needs that are involved in their deployment.

Infrastructure-based indicators depend mainly on logistics capacities and service levels in the case of nodal accessibility (which are given at individual level although mean values can be given by some public authorities and/or chambers of commerce and industry), and need traffic data for edge accessibility. Nowadays, mapping and itinerary websites, such as Google Maps, Bing Maps or Open Street Maps, have average congestion charging data on most road links of cities (some of them at different time slots), allowing the estimation of congestion charging indicators. The same reasoning can then be made for distance and time accessibility indicators when no route construction is used. Cost indicators need to define average transport costs but, since there are national road transport instances allowing to estimate those costs, the information is easy to retrieve (Gonzalez-Feliu, 2018). For route construction, a demand generation (in terms of freight quantity) is needed unless analytical models are used.

Freight generation needs to know the location and the characteristics of the different establishments of a city. Gravity and concentration indicators need both distance/time/cost information and establishment location data. Those locations can be given in a geolocated way (allowing then to process and select information via GIS, and feed geospatial analytics tools) or in a zonal way (*i.e.*, knowing the number of establishments by type with their mean characteristics and zone.) In all cases, GIS tools are required to process and prepare the indicator calculation, and not only for visualization purposes.

Finally, compatibility indicators remain more difficult to calculate, since they derive from route optimization, and need to define several characteristics and constraints related to urban deliveries (Cattaruzza et al., 2017).

The computation of those accessibility and/or attractiveness indicators is then related to data needs. Those data can be geospatial (and, in all cases those data are required, GIS are mainly used to retrieve and prepare the geospatial information to estimate such indicators), socio-economic or functional (*i.e.*, data constructs, models and estimations needed to prepare the data to finally compute the indicators). We report a summary of those data requirements in table 3.

Type of indicators	Indicators	Types of primary data required		Modeling and estimation issues
		Spatial	Socio-economic	
Infrastructure-based, nodal	Logistics capacities	Logistics facilities' location, city zoning	Logistics facilities' characterization	-
	Logistics service levels	Logistics facilities' location, city zoning	Logistics facilities' characterization	-
	Parking capacities	Delivery area/parking location & dimensions, city zoning	-	-
	Parking service levels	Delivery area/parking location & dimensions, city zoning	-	FTG rates
Infrastructure-based, edge	Lane/road service levels	City network with an infrastructure typology	-	Database of network flow charging
	Speeds	City network with an infrastructure typology	-	Database of speed travel in the network
Generation-based	Generation Accessibility	City zoning	Number of premises with characteristics, per zone	FTG/FG modeling framework
	Generation Density	City zoning with area estimation	Number of premises with characteristics, per zone	FTG/FG modeling framework
	Concentration measures	City zoning, inter-premise distance	Number of premises per zone	An assignment of each premise to a zone is needed; r requires to be defined
Distance, time or cost	Direct indicators	City zoning, distances between zones	-	Travel time, speed and/or transport cost between zones
	Route-based indicators	Delivery customers' locations, city zoning, distances between locations	-	A demand dataset is needed for route construction, as well as a vehicle routing algorithm or analytic distance estimation model; travel speeds and unitary costs; service times
Gravity-based		City zoning, distances between locations	Number of premises, employment	Travel times, unitary costs, eventually FG models if freight quantities are considered as opportunities
Space-time compatibility		Delivery customers' locations, city zoning, distances between locations	-	A demand dataset (with time constraints and service times) is needed for route construction, as well as a vehicle routing algorithm

Table 3. Main data needed to estimate the proposed types of accessibility/attractiveness indicators. Those indicators, although primarily proposed by the research communities, have a direct use and application in real planning and management issues. Potential uses of those indicators from a territorial intelligence analytics viewpoint that respond to current requirements of practitioners are (the list is presented to illustrate the main applications of accessibility and attractiveness indicators in practice but does not aim to be exhaustive):

- Delivery area and/or parking design, dimensioning and planning (Dablanc and Beziat, 2015; Magniol et al., 2018). Nowadays, the definition of delivery areas is not matched with the needs in terms of demand, and the capacities (current or potential) are not always estimated systematically (CERTU, 2009). A nodal accessibility indicator would support decisions and assessments in that field, and help city planners and companies to reach a consensus on the strategy of delivery area planning in a city (Magniol et al., 2018).
- Retailing land use planning and store development (Desse, 2001; Hounwanou et al., 2018). Retailing accessibility (Gonzalez-Feliu and Mercier, 2013; Gonzalez-Feliu and Peris-Pla, 2018) may be used to define the needs in sustainable retailing planning, in order to propose land use plans which allow to decrease shopping trips by car and, at the same time, bring the basic food close to households to be accessible to the population. Moreover, mall and commercial center planning, construction and management need decision-support tools for both urban planners, who state in terms of retailing land use, and private construction and mall promotion companies, which aim to make their commercial center projects attractive to urban and periurban populations (Desse, 2002, 2014).
- Urban transport planning, urban land use planning or other territorial plan development, in which freight transport is starting to be included (CERTU-ADEME, 1998; Ballantyne et al., 2013). Since accessibility (mainly distance-time or gravity indicators) is used in transport and urban plans, the corresponding indicators for freight transport, their equivalent for freight, can give a double approach of accessibility, and feed the deployment of global assessments of the plans which would include both private and goods transport.
- Concentration indicators but in general freight generation attractiveness can also be used by real estate companies, wholesalers, industry and transport/logistics stakeholders for their location and market expansion strategies, based on freight transport potential which follows different patterns and determinants than those of household real estate (Kauko and d’Amato, 2009).
- Transport as a service, and more generally infomobility systems, would integrate spatial indicators, such as service levels (both nodal and edge), concentration or

compatibility indicators, to support operational decisions of logistics carriers but also of private transport (mainly in the case of crowded transport or c2c⁶ deliveries) to improve the sustainability of such trips (Gonzalez-Feliu et al., 2018).

- Although non-exhaustive, this list shows the potential of such indicators and of territorial intelligence analytics. However, since the proposed works generally deal with European and North American countries, it seems important to finish this paper by focusing on Latin America and its context, from the viewpoint of deploying such indicators in practice to see their potential but also the limits of their deployment.

4.2 Territorial intelligence analytics and city logistics in Latin American cities

We have previously seen that territorial intelligence analytics spatial indicators have a strong potential for city planners, real estate stakeholders, industrial and logistics managers, among others. However, since said indicators need various data sets coming from different sources, it is important to analyze the main data collection issues for Latin American cities. Indeed, the issue of data production related to urban planning and transport in Latin America is not new, and many authors presented the main issues regarding urban planning data production (Dale et al., 1992; Arrigada, 2003; Borja, 2003; Calderón and Sevén, 2004; Uchida and Nelson, 2009; Garrocho and Buzai, 2015) not focusing on urban freight transport. Moreover, according to Gonzalez-Feliu (2019), urban logistics is confronted with a data paradox: although big data and open data allow to produce a huge quantity and variety of information, that information is not always suitable or necessary to estimate the main data needed in urban logistics information systems (this is called by the author “the big-no data paradox”). This paradox is of great importance in Latin American cities for several reasons:

- From an urbanistic viewpoint, Latin American cities present city structures which combine modern headquarters with a strong land-planning organization and development, and popular headquarters which follow a road and public space land planning, with a heterogeneity of buildings and activity zones, and human settlements which obey to little or no planning issues (Metzger et al., 2015; Alexandri et al., 2016). Moreover, the capabilities of urban planning and the real actions performed in that field in Latin American cities are unequal in the different countries, and even within the same country (Cabeza, 2002).
- In Latin American cities, the levels of informal economies (Tokman, 1978; Friedmann, 2018), as well as the lack of unification in establishing company databases (Parra Herrera, 2017), make the availability of establishment files difficult, such as the standard national files of EU countries or USA states (Holguín-Veras et al., 2018).

- Land-planning competencies are not standardized in many countries of the region, often resulting into an overlapping of competencies and actions of different public (and parapublic) actors (Palacios Argüello et al., 2016) who do not always communicate or exchange basic information (Castrellón-Torres et al., 2018).
- Last but not least, urban freight transport is often associated with private competencies in the countries of that region, and main priorities regarding traffic and urban planning are still given to private transport (as it was in other regions of the world until the beginning of the 21st century). However, that vision is changing, and several Latin American countries are starting to deploy city-logistics planning actions and issues, most of them on a standard basis (Vieira et al., 2016; Holguín-Veras et al., 2018).

Although those four issues are not the only specificities of Latin American cities, they strongly impact the current state of the art in urban logistics planning in that region, as well as the near-future actions (Gonzalez-Feliu and Cedillo-Campos, 2017). Moreover, data production issues are also strongly conditioned by a multistakeholder context, where collaboration is not always a habit (Parra Herrera, 2017; Rojas Huérfano et al., 2018). For those reasons, we propose a brief overview of the current state of the art in Latin American cities regarding data production for territorial intelligence analytics, and more specifically for accessibility indicators as presented in the previous section.

Concerning cartographic data, most Latin American metropolitan cities have nowadays GIS-based data which can be used for the construction of geospatial indicators (Parras and Ramírez, 2016). However, the availability of standard, national, geolocated databases of city areas, roads and built environments can differ in each country, although most of them have national geographic institutes producing various cartographic and spatial databases (Garrocho and Buzai, 2015). The road network geospatial information is not always updated and available. Anyway, a valid alternative is the use of OpenStreetMaps files, which are available at the corresponding website⁶ and propose basic geospatial information of most large and medium-sized Latin American cities. The main issues in Latin American cities concerning one of the most basic information needed to deploy spatial indicators are the heterogeneity of data production practices (national and/or local standards) and data availability, but it seems to be produced at least in a form and quality that allow to define most of the indicators proposed above.

Demographic and socio-economic data is more difficult to obtain, since the unreliability of economic activities, but also of some human settlements in urban

6 <https://www.openstreetmap.org>

areas (Clichevsky, 2017; Soto, 2018), make it difficult to get an accurate census of both the population and economic activities. However, the statistics of the population of different urban areas (including informal settlements) is accurate and standard, since national statistics institutes have worked together to propose an extensive census of the population following a standard basis, at least within the country (Vignoli, 2002; Acosta, 2003). An economic census is also available. It includes only formal activities (Cevallos Vallejos, 2003; Santa María y Rozo, 2009) and misses an important part of the information, since informal economies account for 30-50% of the employees in Latin American cities (Portes and Haller, 2004; Chen, 2012). Moreover, an important part of the informal activities consists of non-sedentary activities, which are difficult to precisely geolocate, although they can be related to a zone of the city in which they operate. To deal with this lack, various assessment techniques can be performed (Portes and Haller, 2004) to estimate such activities, propose a global vision of the economic sectors of a city, and determine the indicators related to freight transport (Gonzalez-Calderon et al., 2018; Holguín-Veras et al., 2013). However, said estimations need to be aggregated at a zone level, with the geolocation being not possible to be given in such context. Anyway, the main demographic and socio-economic information seems to be able to be reproduced and determined to propose suitable accessibility indicators.

Regarding transport flow data, Latin American cities still lack standard surveys in that field. For example, in Lima, two private transport surveys promoted by the Japan International Cooperation Agency (JICA) were carried out for years 2003 and 2014. Those surveys fed the Master Plan for Lima and Callao Metropolitan Area Urban Transportation (Yachiyo Engineering Co. Ltd. and Pacific Consultants International, 2005), and presented the definition of Origin-Destination Matrix. Although those surveys address private transport, several commercial trips, and more importantly shopping trips, are reported. This allows to define trip flows but also centrality and attractiveness of zones for logistics and retailing/shopping purposes. Another alternatives to transport surveys are traffic counts and cordon surveys, which are more common in the cities of the region⁷ (Christopher, 1995; Shifter et al., 2005; Saide et al., 2009; Quintero et al., 2010; Gonzalez-Calderon et al., 2018).

Concerning freight, most Latin American cities did not deploy (at least yet and to the best of our knowledge) a standard survey, such as the surveys carried out with the FTG methodology in more than 20 countries (Holguín-Veras, 2016). Only Medellín (Gonzalez-Calderon et al., 2018) has presented a survey which encompasses the whole city. Bogotá has also presented partial FTG surveys, focused on industrial, wholesaling or retailing zones (Parra Herrera, 2017), for which approximated FTG models can be

7 Traffic counts are mainly used in Latin America for vehicle inventorying and traffic pollution impact estimation.

deployed. Similarly, in the context of night delivery programs (Holguin-Veras et al., 2018), surveys are being performed in various Latin American cities (like São Paulo or Bogotá, among others) using a standard questionnaire, which can deploy FTG models based on the models of Holguin-Veras et al. (2013).

However, various data collection procedures have been carried out in Latin American cities, mainly in the context of the km² methodology (Regal, 2018; Suarez-Nunez and Gonzalez-Feliu, 2018). Those surveys, which cover small zones (of about 1 km² of surface) and just few zones (in general 3 to 5 zones in each city), are aimed to characterize high freight generators, and not to develop FG or FTG models generalizable to a city. However, when coupled with an establishment survey, and for surveyed activities, such data collection allows to gather enough information to estimate FTG rates and generalize them to all the establishments of the same type in the city. Another option is to use carrier data to produce the necessary information to characterize supply chains (Padilla Solís, 2016), focusing on urban deliveries (Gonzalez-Feliu, 2019).

As shown above, it seems that data is not a main limiting issue, although it needs to be produced in a suitable way to deploy relevant indicators. In the deployment of such indicators, it is important to consider the main goals, the main users, the context of application, and the needs of aggregation and data quality to produce a representative indicator (in the sense of problem-solving, Ackoff, 1977; Gonzalez-Feliu, 2019).

5. Conclusions

This paper presented an overview of spatial accessibility and attractiveness indicators for urban freight transport and logistics in the context of business intelligence and analytics, as well as the main practical implications for its deployment in Latin American cities in planning and development issues, including urban logistics and freight transport. Moreover, it introduced a definition of territorial intelligence and analytics from its analogous notion in business, as well as a brief overview of the main categories of indicators. Then, it focused on the definition of indicators to account for two reciprocal notions: accessibility and attractiveness. A typology of five categories of indicators has been proposed and overviewed, showing the state of the art and the main calculation issues. Finally, data and context application issues are proposed, first from a general viewpoint and then from the perspective of their deployment in Latin American cities' planning and management.

The various categories of indicators need different data and account for slightly different aspects of accessibility and attractiveness. They are adapted to different uses, such as retail development, infrastructure dimensioning and planning, or parking and access issues, among others. As shown in the paper, such issues do not only involve city planners but also logistics managers and carrier stakeholders. Moreover, data issues, which are seen

in Latin America as a limitation to the deployment of analytics-based approaches, are to be examined to produce the most suitable indicators with the data available for the requested uses. In other words, territorial intelligence accessibility indicators may be a first approach to define socio-economic issues, such as inequalities, food and goods accessibilities, logistics needs and vulnerabilities, or deficiencies in logistics levels of service, among others, which can synergically be performed using existing data, in order to provide a first easy-to-assess and easy-to-understand decision-support tool. Moreover, since the data used to define such indicators exists and is available, and may be standardized for the entire region (or the indicators being proposed may be standardized worldwide), it can be a good dialogue and communication tool among urban stakeholders (public and private) to reach a consensus on the priority zones, in terms of logistics and the main actions that may be carried out.

Finally, we aim to address four main directions that research would follow to develop and improve such indicators. The first one is related to data processing and production methods to provide standards and unified methodologies, so that the use of such indicators becomes a habit as already is in private transport. The second one is to go in-depth into the links between socio-spatial patterns (defined by accessibility and attractiveness indicators) and logistics flow intensity and characteristics, to formalize the links between logistics and territorial development. The third one consists in defining territorial intelligence and analytics spatial dashboards, based on a sustainable development, and then focusing on the spatial-visual representation of such indicators (not only on accessibility and attractiveness but combining them with socio-economic and environmental indicators to produce sustainable spatial dashboards). Finally, the last one involves the evolution of current indicators to define Key Spatial Indicators (KSI) that seem to be the next step of Territorial Intelligence and Analytics.

References

- Abril, M., Barber, F., Ingolotti, L., Salido, M. A., Tormos, P., y Lova, A. (2008). An assessment of railway capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(5), 774-806.
- Ackoff, R. L. (1977). Optimization+objectivity=optout. *European Journal of Operational Research*, 1(1), 1-7.
- Acosta, F. (2003). La familia en los estudios de población en América Latina: estado del conocimiento y necesidades de investigación. *Papeles de población*, 9(37), 9-50.
- Alexandri, G., González, S., y Hodkinson, S. (2016). Geografías del desplazamiento en el urbanismo de América Latina. *Revista INVI*, 31(88), 9-25.
- Amico, S. (2005). Introduzione di finestre temporali in algoritmi per la distribuzione delle merci: metodologia e analisi degli effetti. Master Thesis, Politecnico di Torino, Turin, Italy.

- Andriankaja, D., Gondran, N., y Gonzalez-Feliu, J. (2015). Assessing the environmental impacts of different IPSS deployment scenarios for the light commercial vehicle industry. *Procedia CIRP*, 30, 281-286.
- Antoni, J. P. (2016). *Concepts, méthodes et modèles pour l'aménagement et les mobilités: l'aide à la décision face à la transition éco-énergétique*. Economica, Paris.
- Avelar-Sosa, L., García-Alcaraz, J. L., Cedillo-Campos, M. G., y Adarme-Jaimes, W. (2014). Effects of regional infrastructure and offered services in the supply chains performance: Case Ciudad Juarez. *Dyna*, 81(186), 208-217.
- Ballantyne, E. E., Lindholm, M., y Whiteing, A. (2013). A comparative study of urban freight transport planning: addressing stakeholder needs. *Journal of transport geography*, 32, 93-101.
- Barbero, J. A. (2010). *Freight logistics in Latin America and the Caribbean: An agenda to improve performance*. Inter-American Development Bank.
- Barles, S. (2018). L'aménagement et l'urbanisme: disciplines de l'interface, interdisciplines. *Revue européenne des sciences sociales*, 56(1), 203-218.
- Barrientos, A. H., Morales, A. E. V., y González, T. V. (2018). Mexican Rural Communities' Metabolism and Its Impact on Socioeconomic Indicators. In April, W. (Ed.) *Culture and identity* (pp. 41-56). Intechopen.
- Ben-Akiva, M., y Lerman, S. R. (1979). Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. *Behavioural travel modelling*, 654-679.
- Bertacchini, Y. (2004). Entre information y processus de communication: l'intelligence territoriale. *Les Cahiers du Centre d'études et de Recherche, Humanisme et Entreprise n° 267*. La Sorbonne Nouvelle, Paris.
- Betanzo-Quezada, E., y Romero, J. A. (2010). An urban freight transport index. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 6312-6322.
- Béziat, A. (2017). *Approche des liens entre transport de marchandises en ville, formes urbaines et congestion: Le cas de l'Île-de-France* (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).
- Blanco, E. (2014). Urban Logistics: a Latin American Perspective. Corporación Andina de Fomento.
- Borja, J. (2003). Ciudad y planificación: la urbanística para las ciudades de América Latina. *Cuadernos de la CEPAL*.
- Bouquin, H. (2001). *Le contrôle de gestion: contrôle de gestion, contrôle de l'entreprise*. 5^{ème} édition. Presses Universitaires de France, Paris
- Bowen, J. T. (2008). Moving places: the geography of warehousing in the US. *Journal of Transport Geography*, 16(6), 379-387.
- Bozzo, R., Conca, A., y Marangon, F. (2014). Decision support system for city logistics: literature review, and guidelines for an ex-ante model. *Transportation Research Procedia*, 3, 518-527.

- Cabeza, Á. M. (2002). Ordenación del territorio en América Latina. *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 6(125), 1.
- Cai, X.L., y Chen C.Y. (2004). The Prediction and Analyse of Regional Logistics Demand [J]. *Logistics Management*, 12, 004.
- Calderón, C., y Servén, L. (2004). *Trends in infrastructure in Latin America, 1980–2001*. The World Bank.
- Castrellón-Torres, J. P., Chaparro, J. S. T., Barrera, N. E. M., Acosta, J. H. T., y Jaimes, W. A. (2018). Information Technology in City Logistics: A Decision Support System for Off-Hour Delivery Programs. In *Exploring Intelligent Decision Support Systems* (pp. 221-238). Springer, Cham.
- Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., y González-Feliu, J. (2017). Vehicle routing problems for city logistics. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 6(1), 51-79.
- Cedillo-Campos, G. (2015). Supply chain performance measurement in Latin America. Report for the International Transportation Forum and National Research Council of Mexico, Querétaro.
- CERTU (2009). *Aménagement des aires de livraison. Guide pour leur quantification, leur localisation et leur dimensionnement*. CERTU, Lyon.
- CERTU–ADEME (1998). *Plans de déplacement urbain. Prise en compte des marchandises*. CERTU, Lyon.
- Chen, H., Chiang, R. H., y Storey, V. C. (2012). Business intelligence and analytics: from big data to big impact. *MIS quarterly*, 1165-1188.
- Chen, M. A. (2012). *La economía informal: definiciones, teorías y políticas*. Mujeres en Empleo Informal: Globalizando y Organizando (WIEGO), London.
- Chiabaut, N., Sigaud, J. M., Marques, G., y Gonzalez-Feliu, J. (2015). Impacts of urban logistics on traffic flow dynamics. In Lauras, M., Zelm, M., Archimède, B., Bénaben, F., y Doumeignats, G. (Eds.) *Enterprise Interoperability: I-ESA 14* (pp. 181-187). John Wiley & Sons.
- Chiabaut, N., Lopez, C., y Leclercq, L. (2016). Evaluation of the performance of an Urban freight system using a multi-use-lane arterial. In *Proceedings of the Meeting of the Transportation Research Board*.
- Chiasson, G., Girardot, J. J., Charlebois, Y., y Bensouda, R., Eds. (2014). *Proceedings of the 1st Intercontinental Conference of Territorial Intelligence; "ICI Territories: Intelligence, Communication and Territorial Engineering to Think Together the Sustainable Development of the Territories"*, Gatineau, Canada, October. INTI, Besançon.
- Chicaiza-Vaca, J., y Hidalgo-Carvajal, D. (2018). Characterization of urban logistics in an HORECA intensive area. Case study: "The T Zone" in Bogotá, Colombia. In *Supply Chain Management and Logistics in Latin America: A Multi-Country Perspective*. Emerald Publishing, Bingley.
- Christopher, P. (1995) Transportation Modeling for Energy and Environment: US Experience and Relevance to the Developing World. *Transportation Research Record*, 1487, 41-48.

- Clichevsky, N. (2017). Hábitat informal en América Latina: entre la permisividad, el desalojo y la regularización. *Territorios*, (6), 15-30.
- Coba, L., Pérez Franco, R., Gonzalez-Feliu, J., y Chong, M. (2018, July). Improved planning of the demand of imported corn seeds in Hortus SC. In *7th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, ILS 2018* (pp. 367-374).
- Combes, F. (2016). A theoretical analysis of the cost structure of urban logistics. *Proceedings of the 6th International Conference in Informations Systems, Logistics and Supply Chain*, Bordeaux, France, June 1-4, 2016, Kedge Business School, Bordeaux, ISBN 978-2-9539787-3-5.
- Comi, A., Buttarazzi, B., Schiraldi, M. M., Innarella, R., Varisco, M., y Rosati, L. (2017). DynaLOAD: a simulation framework for planning, managing and controlling urban delivery bays. *Transportation research procedia*, 22, 335-344.
- Cooper, A. (2012). What is analytics? Definition and essential characteristics. *CETIS Analytics Series*, 1(5), 1-10.
- Crainic, T. G., Perboli, G., Mancini, S., y Tadei, R. (2010). Two-echelon vehicle routing problem: a satellite location analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(3), 5944-5955.
- Crozet, Y., Mercier, A., y Ovtracht, N. (2012). 15. Accessibility: a key indicator to assess the past and future of urban mobility. In Geurs, K.T., Krizek, K., J., Reggiani, A. (Eds.) *Accessibility analysis and transport planning: Challenges for Europe and North America*, (pp. 263-279). Edward Elgar Publishing Limited.
- Dablanc, L. (2011). City distribution, a key element of the urban economy: guidelines for practitioners. In Macharis, C., y Melo, S. (Eds.) *City distribution and urban freight transport: multiple perspectives* (pp. 13-36), Edward Elgar.
- Dablanc, L., y Rodrigue, J. P. (2014). Urban freight distribution: a global typology. In Giuliano, G., y Hanson, S. (Eds.) *The Geography of Urban Transportation, 4th Edition* (pp. 34-56). The Guilford Press, New York.
- Dablanc, L., y Beziat, A. (2015). Parking for freight vehicles in dense urban centers-The issue of delivery areas in Paris. In *94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*.
- Daganzo, C. F. (2005). *Logistics systems analysis*. Springer Science & Business Media.
- Dale, V. H., Southworth, F., O'Neill, R. V., y Rosen, A. (1992). *Simulating spatial patterns of land-use change in Rondônia, Brazil* (No. CONF-9108232--1). Oak Ridge National Lab.
- De Kort, A. F., Heidergott, B., y Ayhan, H. (2003). A probabilistic (max, +) approach for determining railway infrastructure capacity. *European Journal of Operational Research*, 148(3), 644-661.
- De la Barra, T., Franco, H., y Ramos, R. (2012). El Modelo de Chile: Insumo-Producto y Asignación Multimodal de Carga y Pasajeros. *Ingeniería de Transporte*, 16(2).
- Deflorio, F. P., Gonzalez-Feliu, J., Perboli, G., y Tadei, R. (2012). The influence of time windows on the costs of urban freight distribution services in city logistics applications. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 12(3), 256-274.

- Desse, R. P. (2001). *Le nouveau commerce urbain. Dynamiques spatiales et stratégies des acteurs*. Presses universitaires de Rennes.
- Desse, R. P. (2002). Les centres commerciaux français, futurs pôles de loisirs? *Flux*, 4, 6-19.
- Desse, R. P. (2014). Quelle résilience pour les espaces commerciaux? Le cas français. *GOT, Revista de Geografía e Ordenamento do Território*, (6), 45-69.
- Dima, C. (2016). New Approaches of Investment Management Used in Context of Territorial Intelligence. *Business Excellence and Management*, 6(4), 36-44.
- Dodman, D. (2009). Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories. *Environment and urbanization*, 21(1), 185-201.
- Ducret, R., y Gonzalez-Feliu, J. (2016). Connecting demand estimation and spatial category models for urban freight: First attempt and research implications. *Transportation research procedia*, 12, 142-156.
- Dumas, P., Gardère, J. P., y Bertacchini, Y. (2007). Contribution of socio-technical systems theory concepts to a framework of Territorial Intelligence. In *Huelva Caenti Conference* (pp. 1-13).
- Duranton, G., y Overman, H. G. (2005). Testing for localization using micro-geographic data. *The Review of Economic Studies*, 72(4), 1077-1106.
- Fischetti, M., Lodi, A., Martello, S., y Toth, P. (2001). A polyhedral approach to simplified crew scheduling and vehicle scheduling problems. *Management Science*, 47(6), 833-850.
- Fontes Lima Jr, O., Rutkowski, E. W., De Carvalho, C. C., y Lima, J. C. F. (2010). Sustainable logistics platform in a regional Brazilian airport. *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*, Vol 48, 87-98.
- Fransoo, J. C., Blanco, E. E., y Mejía Argueta, C. M. (2017). *Reaching 50 million nanostores: retail distribution in emerging megacities*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Friedmann, J. (2018). The barrio economy and collective self-empowerment in Latin America. In *Life Space and Economic Space* (pp. 120-156). Routledge.
- Garrocho, C., y Buzai, G. D. (Eds.). (2015). *Geografía aplicada en Iberoamérica: avances, retos y perspectivas*. El Colegio Mexiquense.
- Geurs, K. T., y Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport geography*, 12(2), 127-140.
- Girardot J.J. (2000). Principes, Méthodes et Outils d 'Intelligence Territoriale. Évaluation participative et Observation coopérative. In *Conhecer melhor para agir melhor* (pp. 7-17). DGAS, Lisbon.
- Girardot, J. J. (2009). Evolution of the concept of territorial intelligence within the coordination action of the European network of territorial intelligence. *Res-Ricerca e Sviluppo per le politiche sociali, Nuova serie*, 1-2, 11-29.
- Giuliano, G., Gordon, P., Pan, Q., y Park, J. (2010). Accessibility and residential land values: some tests with new measures. *Urban Studies*, 47(14), 3103-3130.

- Giuliano, G., Kang, S., y Yuan, Q. (2016). Spatial dynamics of the logistics industry and implications for freight flows. Final Report. Project No. NCST-20160600.
- Gonzales, R., Wareham, J., y Serida, J. (2015). Measuring the Impact of Data Warehouse and Business Intelligence on Enterprise Performance in Peru: A Developing Country. *Journal of Global Information Technology Management*, 18(3), 162-187.
- Gonzalez-Calderon, C. A., Sánchez-Díaz, I., Sarmiento-Ordosgoitia, I., y Holguín-Veras, J. (2018). Characterization and analysis of metropolitan freight patterns in Medellín, Colombia. *European Transport Research Review*, 10(2), paper n° 23, 1-11.
- Gonzalez-Feliu, J. (2008a). Models and methods for city logistics planning and management. LET Seminar, Lyon, 4 June 2008.
- Gonzalez-Feliu, J. (2008b). *Models and methods for the city logistics: The two-echelon capacitated vehicle routing problem* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
- Gonzalez-Feliu, J. (2011). Two-echelon transportation optimisation: unifying concepts via a systematic review. *Working Papers on Operations Management*, 2(1), 18-30.
- Gonzalez-Feliu, J. (2012). Freight distribution systems with cross docking: A multidisciplinary analysis. *Journal of the Transportation Research Forum*, 51(1), 143-149.
- Gonzalez-Feliu, J. (2013). Vehicle Routing in Multi-Echelon Distribution Systems with Cross-Docking: A Systematic Lexical-Metanarrative Analysis. *Computer and Information Science*, 6(3), 28-47.
- Gonzalez-Feliu, J. (2018). *Sustainable Urban Logistics: Planning and Evaluation*. John Wiley & Sons.
- Gonzalez-Feliu, J. (2019). *Logistics and Transport Modeling in Urban Goods Movement*. IGI Global, Hershey.
- Gonzalez-Feliu, J., y Mercier, A. (2013). A double people-freight accessibility approach for urban retailing and leisure planning at strategic level. 5th METTRANS International Conference on Urban Freight, Long Beach, California, October 6th-8th.
- Gonzalez-Feliu, J., Basck, P., y Morganti, E. (2013a). Urban logistics solutions and financing mechanisms: a scenario assessment analysis. *European Transport/Trasporti Europei*, 54(11), 1-16.
- Gonzalez-Feliu, J., Pluvinet, P., Serouge, M., y Gardrat, M. (2013b). Urban Freight Analysis Based on GPS Data. In Hsuesh, Y.H. (ed.), *Global Positioning Systems: Signal Structure, Applications and Sources of Error and Biases*, Nova Science Publishers, New York, pp. 73-93.
- Gonzalez-Feliu, J., y Morana, J. (2014). Assessing urban logistics pooling sustainability via a hierarchic dashboard from a group decision perspective. In Macharis, C., Melo, S., Woxenius, J., y Van Lier, T. (Eds.) *Sustainable Logistics* (pp. 113-135). Emerald Group Publishing Limited.
- Gonzalez-Feliu, J., y Salanova Grau, J. M. (2014). How the location of urban consolidation and logistics facility has an impact on the delivery costs? An accessibility analysis. In *Transport Research Arena Conference 2014*.

- Gonzalez-Feliu, J., Malhéné, N., Morganti, E., y Morana, J. (2014a). The deployment of city and area distribution centers in France and Italy: Comparison of six representative models. *Supply chain forum: An international journal*, 15(4), 84-99.
- Gonzalez-Feliu, J., Salanova Grau, J. M., y Beziat, A. (2014b). A location-based accessibility analysis to estimate the suitability of urban consolidation facilities. *International Journal of Urban Sciences*, 18(2), 166-185.
- Gonzalez-Feliu, J., Taniguchi, E., y d’Arcier, B. F. (2014c). Financing urban logistics projects. In Gonzalez-Feliu, J., Semet, F., y Routhier, J.L. (Eds.) *Sustainable Urban Logistics: Concepts, Methods and Information Systems* (pp. 245-265). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gonzalez-Feliu, J., Muñuzuri, J., Cedillo-Campos, M. G., Ambrosini, C., Taniguchi, E., y Chiabaut, N. (2015). Restrictions d’accès au centre-ville: à la recherche du «véhicule optimal» urbain. *Logistique & Management*, 23(2), 31-44.
- Gonzalez-Feliu, J., y Battaia, G. (2017). La mutualisation des livraisons urbaines: quels impacts sur les coûts et la congestion? *Logistique & Management*, 25(2), 107-118.
- González-Feliu, J., y Cedillo-Campos, M. G. (2017). Presentación. Logística y desarrollo territorial. *Revista Transporte y Territorio*, 17, 1-9.
- Gonzalez-Feliu, J., y Peris-Pla, C. (2017). Impacts of retailing attractiveness on freight and shopping trip attraction rates. *Research in Transportation Business & Management*, 24, 49-58.
- Gonzalez-Feliu, J., y Sánchez-Díaz, I. (2018a). The influence of aggregation level and category construction on estimation quality for freight trip generation models. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.
- Gonzalez-Feliu, J., Palacios-Argüello, L. V., y Suárez-Núñez, C. (2018b). The relations between freight trip generation and gravity accessibility: An exploratory analysis. In *Logistics Operations Management (GOL), 2018 4th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE.
- Gonzalez-Feliu, J., Pronello, C., Salanova Grau, J. M. (2019). Multi-stakeholder collaboration in urban transport: state-of-the-art, contribution of the present issue and research opportunities. *Transport*, in press.
- Guzmán-Jiménez, R. M., Barreno-Vereau, E., y Medina-Merino, R. F. (2016). Sistema de información de emisiones de CO₂. *Interfases*, 9, 117-147.
- Hägerstrand, T. (1970), What About People in Regional Science? *Papers of the Regional Science Association*, 24, 7-21.
- Hansen, W.G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute Planners*, 25, 73-76.
- Hegron, G., y Haxaire, O., eds. (2012). *Modélisation urbaine: de la représentation au projet*. Ministère de l’Ecologie, du Développement Durable et de l’Energie, Direction de la Recherche et de l’Innovation, La Défense, France.
- Helling, A. (1998). Changing intra-metropolitan accessibility in the US: Evidence from Atlanta. *Progress in Planning*, 49(2), iii-107.

- Holguín-Veras, J. (2016). Applications of Data from Establishment Surveys. *Third VREF conference on urban freight: Plan for the future – sharing urban space*. 17th-19th October, Gothenburg, Sweden.
- Holguín-Veras, J., Encarnación, T., González-Calderón, C. A., Winebrake, J., Wang, C., Kyle, S., Herazo-Padilla, N., Kalahasthi, L., Adarme, J., Cantillo, V., Yoshizaki, H., y Garrido, R. (2018). Direct impacts of off-hour deliveries on urban freight emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61(A), 84-103.
- Holguín-Veras, J., Ramírez-Ríos, D.G., Encarnación, T., González-Feliu, J. Caspersen, E., Rivera-González, C., González-Calderón, C.A., y da Silva Lima, R. (2018) Metropolitan Economies and the Generation of Freight and Service Activity: An International Perspective. In Browne, M., Behrends, S., Holguín-Veras, J., Giuliano, G., y Woxenius, J. (eds.) *Urban Logistics. Management, Policy and Innovation in a Rapidly Changing Environment* (pp. 19-51). Kogan Page, London.
- Holguín-Veras, J., Sánchez-Díaz, I., Lawson, C. T., Jaller, M., Campbell, S., Levinson, H. S., y Shin, H. S. (2013). Transferability of freight trip generation models. *Transportation Research Record*, 2379(1), 1-8.
- Holsapple, C., Lee-Post, A., y Pakath, R. (2014). A unified foundation for business analytics. *Decision Support Systems*, 64, 130-141.
- Hounwanou, S., Comi, A., Gonzalez-Feliu, J., y Gondran, N. (2018). Inner city versus urban periphery retailing: store relocation and shopping trip behaviours. Indications from Saint-Etienne. *Transportation research procedia*, 30, 363-372.
- Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, 5, 101-107.
- Kauko, T., y d'Amato, M. (Eds.). (2009). *Mass appraisal methods: An international perspective for property valuers*. John Wiley & Sons.
- Kerzner, H. (2017). *Project management metrics, KPIs, and dashboards: a guide to measuring and monitoring project performance*. John Wiley & Sons.
- Kourtit, K., y Nijkamp, P. (2018). Big data dashboards as smart decision support tools for i-cities– An experiment on stockholm. *Land use policy*, 71, 24-35.
- Lama More, C. (2010). Gamarra: Logística inteligente para una ciudad mejor. *En Vía*, 2010 (4), 14-15.
- Laroche, F. (2014). *Economie politique des infrastructures ferroviaires* (Doctoral dissertation, Université Lumière-Lyon II).
- Laursen, G. H., y Thorlund, J. (2016). *Business analytics for managers: Taking business intelligence beyond reporting*. John Wiley & Sons.
- Lawson, C., Holguín-Veras, J., Sánchez-Díaz, I., Jaller, M., Campbell, S., y Powers, E. (2012). Estimated generation of freight trips based on land use. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2269, 65-72.

- Lendjel, E., y Fischman, M. (2014, January). Innovations in Barge Transport for Supplying French Urban Dense Areas: A Transaction Costs Approach. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 15(4), 16-27.
- Liu, X., y Ma, S. (2005, October). Quantitative analysis of enterprise's logistics capability based on supply chain performance. In *e-Business Engineering, 2005. ICEBE 2005. IEEE International Conference on* (pp. 191-194). IEEE.
- Lopez, C. (2017). *Modélisation dynamique du trafic et transport de marchandises en ville: vers une approche combinée* (Doctoral dissertation, Université de Lyon).
- Macário, R., Rodrigues, M., Gama, A., Timms, P., Lama, C., Amaral, M., Schoemaker, J.; Tromp, N., Quinn, D., Abranches, G. (2011). Handbook on Urban Logistics - TURBLOG_ww: Transferability of urban logistics concepts and practices from a worldwide perspective. TIS.pt – Transportes, Inovação e Sistemas, S.A., Lisbon.
- Magniol, S., Lopez, C., Gonzalez-Feliu, J., Chiabaut, N., Leclercq, L. (2018), The searching time to measure the Freight Loading Zone Accessibility using microscopic traffic simulation. In *Proceedings of the 7th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, ILS 2018, Lyon, 8-11 July*, pp. 406-414.
- Marcon, E., y Puech, F. (2003). Evaluating the geographic concentration of industries using distance-based methods. *Journal of Economic Geography*, 3(4), 409-428.
- Marcon, E., y Puech, F. (2009). Measures of the geographic concentration of industries: improving distance-based methods. *Journal of Economic Geography*, 10(5), 745-762.
- Martínez, F.J. (1995). Access: the transport-land use economic link. *Transportation Research Part B*, 29(6), 457-470.
- Masson, S., y Petiot, R. (2012). Attractivité territoriale, infrastructures logistiques et développement durable. *Les Cahiers Scientifiques du transport*, 61, 63-90.
- Melo, S., y Costa, A. (2011). Definition of a set of indicators to evaluate the performance of urban goods distribution initiatives. In Macharis, C., y Melo, S. (eds.), *City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives* (pp. 120-149). Edward Elgar, Northampton.
- Merchán Dueñas, D. E. (2015). *Transshipment networks for last-mile delivery in congested urban areas*. Master thesis, Massachusetts Institute of Technology).
- Metzger, P., Gluski, P., Robert, J., y Sierra, A. (2015). *Atlas problemático de una metrópoli vulnerable: desigualdades urbanas en Lima et Callao*. Institut Français d'Etudes Andines, Coll. Travaux de l'Institut Français d'Etudes Andines, vol. 331, Lima.
- Montoya-Torres, J. R., Muñoz-Villamizar, A., y Vega-Mejía, C. A. (2016). On the impact of collaborative strategies for goods delivery in city logistics. *Production Planning & Control*, 27(6), 443-455.
- Muller, M. L. (2007). Competitive intelligence in business: Latin America. *South African Journal of Information Management*, 9(2), paper a19, online: <https://sajim.co.za/index.php/SAJIM/article/viewFile/19/19>.

- Muñuzuri, J., Grosso, R., Cortés, P., y Guadix, J. (2013). Estimating the extra costs imposed on delivery vehicles using access time windows in a city. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 262-275.
- Negash, S., y Gray, P. (2008). Business intelligence. In *Handbook on decision support systems 2* (pp. 175-193). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Norman, J., MacLean, H. L., y Kennedy, C. A. (2006). Comparing high and low residential density: life-cycle analysis of energy use and greenhouse gas emissions. *Journal of urban planning and development*, 132(1), 10-21.
- Padilla Solís, J. A. (2014). La evolución del planeamiento de ventas y operaciones. *Interfases*, 7, 105-116.
- Padilla, J. (2006). Cerrando brechas entre el *marketing* y las tecnologías de información. *Interfases*, 1, 79-89.
- Padilla-Solís, J. A. (2016). Inserción de las empresas peruanas en las cadenas globales de suministro. In *Metas del Perú al Bicentenario, 1ra edición* (pp. 232-248). Consorcio de Universidades, Lima.
- Palacios Argüello, L., Parra Herrera, J. E., y Adarme Jaimes, W. (2016). Data requirements for urban logistics decision support: Case of loading and unloading operations in Bogotá, Colombia. In *6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, ILS 2016*.
- Parra Herrera, J. E. (2017). Estrategias de coordinación en operaciones de cargue y descargue de mercancías. Master Thesis. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Parra Herrera, J. E., Palacios Argüello, L. V., Gonzalez-Feliu, J., y Adarme Jaimes, W. (2017). Decision Support System Design Requirements, Information Management, and Urban Logistics Efficiency: Case Study of Bogotá, Colombia. In *Handbook of Research on Information Management for Effective Logistics and Supply Chains* (pp. 223-238). IGI Global.
- Parras, M. A., y Ramírez, M. L. (2016). Propuesta metodológica para el modelado de la demanda potencial del transporte público mediante el empleo de sistemas de información geográfica. *Revista Transporte y Territorio*, 14, 109-121.
- Patier, D., David, B., Chalon, R., y Deslandres, V. (2014). A new concept for urban logistics delivery area booking. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 125, 99-110.
- Pavone, G. (1997). Eléments d'évaluation de la qualité du service de transport ferroviaire. *Rail international*, 28(6), 47-59.
- Pirie, G.H. (1979). Measuring accessibility: a review and proposal. *Environment and Planning A*, 11, pp. 299-312.
- Pluvinet, P., Gonzalez-Feliu, J., y Ambrosini, C. (2012). GPS data analysis for understanding urban goods movement, *Procedia – Social and Behavioral Science*, vol. 39, pp. 450-462.
- Portes, A., y Haller, W. J. (2004). *La economía informal*. Cepal.

- Quak, H. J., y de Koster, M. R. B. (2009). Delivering goods in urban areas: how to deal with urban policy restrictions and the environment. *Transportation science*, 43(2), 211-227.
- Quintero, Á., Angulo, C., y Guerrero, J. (2010). Determinación de tasas de generación de viajes para conjuntos residenciales ubicados en la ciudad de Mérida, Venezuela. *Ciencia e Ingeniería*, 32(1), 45-54.
- Rafele, C. (2004). Logistic service measurement: a reference framework. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(3), 280-290.
- Recker, W.W., Chen, C. y McNally, M.G. (2001). Measuring the impact of efficient household travel decisions on potential travel time savings and accessibility gains. *Transportation Research A*, 35(4), 339-369.
- Regal, A. (2018). An Expansion on the KM2 Methodology: A Clustering Algorithm Comparison for the Case of Li. In *2018 MIT SCALE Latin America Conference*.
- Ripley, B. D. (1977). Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 172-212.
- Rodrigue, J. P. (2004). Freight, gateways and mega-urban regions: the logistical integration of the Bostwash corridor. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 95(2), 147-161.
- Rodrigue, J. P., y Notteboom, T. (2010). Comparative North American and European gateway logistics: the regionalism of freight distribution. *Journal of Transport Geography*, 18(4), 497-507.
- Rojas Huérfano, L. F., Castrellón Torres, J. P., y Adarme Jaimes, W. (2018). Políticas públicas en logística urbana. Construcción colectiva de lineamientos para la logística de Bogotá-Colombia. *Ingeniería, Investigación y tecnología*, 19(2), 159-169.
- Saide, P., Zah, R., Osses, M., y de Eicker, M. O. (2009). Spatial disaggregation of traffic emission inventories in large cities using simplified top-down methods. *Atmospheric Environment*, 43(32), 4914-4923.
- Sánchez Vegas, S. (2004). Knowledge Management: intellectual capital and social capital. An approach for Latin America. *IFLA journal*, 30(2), 156-165.
- Sanchez-Diaz, I., Holguín-Veras, J., y Wang, C. (2013). Assessing the role of land-use, network characteristics, and spatial effects on freight trip attraction. Transportation Research Board 92nd Annual Meeting. Washington DC.
- Santa María, M., y Rozo, S. (2009). Análisis cualitativo y cuantitativo de la informalidad empresarial en Colombia. *Desarrollo y Sociedad*, (63).
- Ségalou E., Ambrosini, C., y Routhier, J.L. (2004). The environmental assessment of urban goods movement. In Taniguchi, E., and Thomson, R. G. (eds.). *Logistics Systems for Sustainable Cities*. Elsevier, Amsterdam, pp. 207-220.
- Soto, A. L. R. (2018). El papel del sector informal en dos economías de América Latina: México y Guatemala. *RICEA Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 7(14), 82-106.

- Stewart, J. Q. (1947). Empirical mathematical rules concerning the distribution and equilibrium of population. *Geography Review*, 37, 461-485.
- Suárez-Nuñez, C., y Gonzalez-Feliu, J. (2018). Freight trip generation modeling and data collection processes in Latin American cities: Modeling framework for Quito and generalization issues. In *2018 MIT SCALE Latin America Conference*.
- Taniguchi, E., y Thompson, R. G. (Eds.). (2015). *City logistics: Mapping the future*. CRC Press.
- Thomas, I., Hermia, J. P., Vanelslander, T., y Verhetsel, A. (2003). Accessibility to freight transport networks in Belgium: a geographical approach. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 94(4), 424-438.
- Tokman, V. E. (1978). Las relaciones entre los sectores formal e informal. *Revista de la CEPAL*, 1978(1), 103-142.
- Toth, P., y Vigo, D. (Eds.). (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Troch, F., Vanelslander, T., Sys, C., Laroche, F., Merchan, A., Mostert, M., ... y Limbourg, S. (2017). A road map for explorative scenario creation on Belgian rail freight transport development. *Competition and Regulation in Network Industries*, 18(1-2), 3-21.
- Turban, E., King, D., Sharda, R., y Delen, D. (2013). *Business intelligence: a managerial perspective on analytics*. Prentice Hall, New York.
- Uchida, H., y Nelson, A. (2009). Agglomeration index: towards a new measure of urban concentration. Background paper for the WDR 2009.
- Van Wee, B. (2016). Accessible accessibility research challenges. *Journal of transport geography*, 51, 9-16.
- Vieira, J. G., Carvalho, C. D., y Yoshizaki, H. Y. (2016). Atributos da distribuição de carga e indicadores de desempenho logístico: pesquisa com empresas que atuam na região metropolitana de São Paulo. *Transportes*, 24(4), 10-20.
- Vignoli, J. R. (2002). *Distribución territorial de la población de América Latina y el Caribe: tendencias, interpretaciones y desafíos para las políticas públicas* (Vol. 32). United Nations Publications.
- Ville, S., Gonzalez-Feliu, J., y Dablanc, L. (2013). The limits of public policy intervention in urban logistics: Lessons from Vicenza (Italy). *European Planning Studies*, 21(10), 1528-1541.
- Wang, Z., Goodchild, A. V., y McCormack, E. (2016). Freeway truck travel time prediction for freight planning using truck probe GPS data. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 16(1), 76-94.
- Wang, Z., Goodchild, A., y McCormack, E. (2017). A methodology for forecasting freeway travel time reliability using GPS data. *Transportation Research Procedia*, 25, 842-852.
- Watson, H. J., y Wixom, B. H. (2007). The current state of business intelligence. *Computer*, 40(9).
- Wisetjindawat, W., y Sano, K. (2003). A behavioral modeling in micro-simulation for urban freight transportation. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 2193-2208.

- Yachiyo Engineering Co. LTD, y Pacific Consultants International (2005). The master plan for Lima and Callao metropolitan area. Urban transportation in the Republic of Peru (Phase 1). FINAL REPORT, volume I. Report for the Japan International Cooperation Agency (JICA), Transport Council of Lima And Callao and Ministry of Transportations and Communications of The Republic of Peru.
- Yang, C. C., Marlow, P. B., y Lu, C. S. (2009). Assessing resources, logistics service capabilities, innovation capabilities and the performance of container shipping services in Taiwan. *International Journal of Production Economics*, 122(1), 4-20.
- Yogev, N., Fink, L., y Even, A. (2012). How Business Intelligence Creates Value. In *ECIS Proceedings*.
- Zevallos Vallejos, E. G. (2003). Micro, pequeñas y medianas empresas en América Latina. *Revista de la CEPAL*, 79, 53-70.
- Zhao, H. (2010). On Regional Logistics Demand Index System Construction. *Logistics Sci-Tech*, 2010(2).

PERFILES

**Reiner
Solís
Villanueva**

Correo electrónico: rsolis@ulima.edu.pe

Ingeniero electrónico por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), posee estudios de posgrado en administración (Programa Avanzado de Dirección de Empresas - PADE) en la Universidad ESAN y es egresado de la Maestría de Gerencia de Proyectos de Ingeniería y del Doctorado de Ingeniería de Sistemas por la Universidad Nacional Federico Villarreal. Capacitador acreditado del Organismo Superior de las Contrataciones del Estado (OSCE), árbitro inscrito en el Sistema Nacional de Arbitraje del OSCE y en el Centro de Resolución de Conflictos y Arbitraje de la PUCP en la especialidad de obras de infraestructura de sistemas de tecnologías de información y ejecución contractual. Desarrolló su actividad profesional en las empresas del Grupo Iconsa y Project Consulting S. A., Proice S.A.C., como residente de obra, gerente técnico, gerente de obras y representante legal en infraestructura de planta externa telefónica, comunicaciones y datos, transmisión eléctrica y montaje de equipos de sistemas de comunicación. Prestó servicios en contratos con las siguientes entidades públicas y privadas: Telefónica del Perú, Ministerio de Energía y Minas, Sedapal, Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S. A. (Egasa), Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico y Emape. Es docente en la Universidad de Lima y en la Universidad ESAN, así como capacitador, consultor y asesor arbitral en controversias con el Estado.

Correo electrónico: sac@grupopirineus.com.br

Ingeniero de Minas por la Universidad Federal de Goiás, labora en el Grupo Pirineus dedicada a la explotación e industrialización de yacimientos calcarios. Realiza trabajos de dimensionamiento de equipamientos de carguío y transporte con aplicación de simulación computacional mediante el software Arena. Desarrolla investigaciones en el área de Operaciones, especialmente en el área de transporte con distribución dinámica.

**Osmar Lins
de Noronha**

Correo electrónico: canoalcides@hotmail.com

**Alcides Eloy
Cano Nuñez**

Graduado en ingeniería de minas por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (2000), con maestría en explotación de minas por la Universidad Federal de Ouro Preto (2010-2013); labora como asesor de tesis y dirige dos proyectos de investigación en la Universidad Federal de Goiás en Regional Catalao, Brasil. Tiene experiencia en el área de explotación de minas, realiza investigación en geotecnia para excavaciones subterráneas vía aplicación del método continuo generalizado de Cosserat - mecánica continua. También se dedica a estudios de dimensionamiento de equipamiento de mina a través de modelos estocásticos y algoritmos, con aplicaciones de modelos de optimización con *software* PNL (aplicación de matemática no lineal).

Correo electrónico: carroyo@ufop.edu.br

Ingeniero de minas por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (2002), magíster en ingeniería de minas (2008) y doctor en Geociencias (2014), ambos por la Universidad Federal de Ouro Preto (Brasil). Es investigador y académico en el área de ingeniería de minas, específicamente en planificación minera y evaluación de depósitos minerales, áreas en las cuales ha realizado trabajos académicos y proyectos tanto de investigación como aplicados a la industria. En la actualidad se desempeña como docente de la cátedra de planificación minera y evaluación de depósitos minerales en los niveles de pregrado y posgrado. Es director del Lplmufop (Laboratorio de Planificación Minera), ambos en el Escuela de Minas de la Universidad Federal de Ouro Preto, Brasil. Es investigador invitado en el Instituto Tecnológico Vale.

**Carlos Enrique
Arroyo Ortiz**

**Adeline Ferreira
dos Reis**

Correo electrónico: delinereis@yahoo.com.br

Licenciada en Pedagogía por la Universidad Federal de Goiás (2003), con estudios de maestría en educación en la Universidad Metodista de Piracicaba (UNIMEP). Especialista en letras con énfasis en arte en el contexto escolar. Realizó investigación en docencia y arte en los primeros años de formación básica. Posee experiencia práctica en enseñanza básica y como coordinadora de pedagogía y profesora de apoyo al público en vías de inclusión. Es profesora de Escuela Básica en la Red Estadual del Estado de Goiás y en la Unidad Académica Especial de Educación en la Universidad Federal de Goiás, Regional Catalao.

Correo electrónico: delicia.lucero.guevara@gmail.com

Ingeniera de sistemas por la Universidad de Ciencias Aplicadas y egresada de la Maestría de Ingeniería de Sistemas con mención en ingeniería del **software** por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Tiene experiencia como analista funcional y desarrollador de **software**, usando estándares y patrones que aseguran factores diferenciadores en las aplicaciones para alcanzar nuevas oportunidades de negocio y aplicando técnicas para empatizar con los usuarios, interpretar y definir sus necesidades en diferentes niveles de la organización.

**Delicia Esmeralda
Lucero Guevara**

**Nora Bertha La
Serna Palomino**

Correo electrónico: nlaserlap@unmsm.edu.pe

Licenciada en computación por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Lima (UNMSM), Perú, y magíster en ciencias de la computación por la Universidad de Cantabria, España (1990). Es doctora en informática por la Universidad del País Vasco, España (1998). Es docente asociada de la UNMSM de pre y posgrado, sus áreas de investigación ingeniería de **software** y ciencias de la computación. Se ha desempeñado como responsable de proyectos de investigación financiados, asesora de tesis y autora de artículos en revistas especializadas e indexadas.

**Michael
Dorin**

Correo electrónico: mike.dorin@stthomas.edu

Titulado en ciencias matemático-computacionales por la Universidad de Wisconsin y magíster en ciencias por la Universidad Estatal Metropolitana, Minneapolis, Minnesota. Cuenta con treinta años de experiencia en diseño y desarrollo de *software* profesional, especializado en cifrado y seguridad de datos. Conocedor de múltiples lenguajes de programación: C, C++, C#, Java, Perl, PHP, Python, TTCN-3, Assembly, Visual Basic, Pascal y FORTRAN. Actualmente es docente en la Universidad St. Thomas en Minnesota y anteriormente en la Universidad Estatal Metropolitana. Se desempeñó como ingeniero *senior* de diseño de *software* en Dell Inc., ingeniero *senior* en investigación y desarrollo de *Software* en Garmin International, ingeniero senior de *Software* en Honeywell, y como ingeniero de *Software* y presidente de EDI Enterprises Inc.

Correo electrónico: sergio.montenegro@uni-wuerzburg.de

Bachiller en ciencias de la computación por la Universidad del Valle de Guatemala, magíster en Ciencias de la Computación y doctor en Ciencias por la Universidad Técnica de Berlín. Entre el 2007 y el 2010 se desempeñó como jefe del Departamento de Investigación en Central Avionics. Actualmente es docente en la Universidad de Würzburg en tecnología de la información aeroespacial e investigador, sus áreas de interés son: computación confiable, objetos voladores autónomos en interiores, sistemas operativos en tiempo real y *middleware*, computación distribuida.

**Sergio
Montenegro****Walter Schmidt
Felsch Junior**

Correo electrónico: walter.felsch@csn.com.br

Ingeniero de minas y magíster en Ingeniería Mineral por la Universidad Federal de Ouro Preto. Obtuvo un MBA en gestión de empresas y negocios por BI International. Tiene experiencia en el área de minería a cielo abierto, trabajando en la empresa CSN "Mina Casa de Piedra" en Minas Gerais, Brasil. Ha laborado en las áreas de operación, infraestructura y planificación de mina, y tiene especialización en el área de control operacional a través del uso de *softwares* de gestión de flotas (Intellimine -Modular Mining y Smartmine - Devex). Desarrolla trabajos técnicos para optimización de las operaciones de minado y reducción de costos operacionales. Posee el cargo ingeniero de desarrollo *senior* en CSN (Compañía Siderúrgica Nacional) Minería y está vinculado al programa de postgrado en ingeniería de minas de la Universidad Federal de Ouro Preto como alumno especial, desarrollando estudios de doctorado en temas relacionados con la industria 4.0 (análisis de *big data*, inteligencia artificial y *software* de *business intelligence*).

Correo electrónico: valdeis.oliveira@csn.com.br

Técnico en minería con experiencia en operación, infraestructura y control de tráfico de mina. Labora en la empresa minera CSN (Compañía Siderúrgica Nacional) como supervisor del despacho electrónico desde el 2008. Es docente del curso técnico de minería en el Colegio Potencia.

**Valdeis de Souza
Oliveira**

Correo electrónico: pablo.cuhna@csn.com.br

Pablo Rodrigo Vieira da Cunha

Ingeniero de Minas por la Universidad Federal de Ouro Preto y MBA en gestión de proyectos por la Fundación Getúlio Vargas. Tiene 16 años de experiencia en minería, como gerente en Anglo American y Compañía Siderúrgica Nacional (CSN) en las áreas de planificación, infraestructura y operación de mina. Es ingeniero especialista en CSN.

Correo electrónico: eder.costa@csn.com.br

Graduado en Ingeniería de Minas por la Universidad Federal de Ouro Preto, con 11 años de experiencia en el área de planificación de minado a cielo abierto, 8 de ellos en proyectos de explotación de minas de hierro. Se ha desempeñado en labores relacionadas con el cálculo de reservas mineras y operaciones mineras.

Éder Flávio de Araújo Costa

Correo electrónico: jmachuca@ulima.edu.pe

Juan Manuel Machuca de Pina

Ingeniero industrial por la Universidad de Lima, con estudios de maestría en docencia y gestión universitaria por la Universidad Marcelino Champagnat. Ha realizado diversas actividades de asesoría en temas logísticos y sistemas de información comercial. Actualmente se desempeña como docente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, y en la Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas de la Universidad de Lima.

Correo electrónico: agarciay@ulima.edu.pe

Ingeniera industrial por la Universidad de Lima y magíster en *marketing* por la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, con más de 25 años de experiencia laboral. Es docente de cursos de operaciones y *marketing* de la Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas. Ha realizado investigaciones sobre biocomercio y preferencias del consumidor dentro de la gestión de la cadena de suministro, y ha publicado artículos en *Latin American Journal of Business Management* y en la Conferencia Anual de Investigación en Agricultura Tropical y Subtropical, gestión de recursos naturales y desarrollo rural (Tropentag) en la que participan universidades y otras instituciones europeas.

Alicia Isabel García Yi

**Manuela Linares
Barbero**

Correo electrónico: malinare@ulima.edu.pe

Ingeniera de sistemas y magíster en administración de negocios (MBA) por la Universidad de Lima. Obtuvo una certificación en *e-commerce* con honores por la Universidad de Coventry. Es consultor de negocios y tecnología, con más de 21 años de experiencia laboral en Perú y en Inglaterra. Posee experiencia en el rediseño de procesos productivos, operativos, administrativos y académicos; y en la definición de propuesta de mejora para automatizar la operación de la empresa, así como la implementación de soluciones de negocio. Tiene experiencia como responsable de brindar soporte funcional y operativo a empresas financieras, productivas y educativas, así como capacitación a usuarios finales en las soluciones de negocio. Es docente en la Universidad de Lima y candidata a doctora por la Universidad Pablo de Olavide.

Correo electrónico: jesus.gonzalez-feliu@emse.fr

Ingeniero civil por el Instituto Nacional en Ciencias Aplicadas (INSA) de Lyon (Francia), máster en transporte y movilidad sostenible y doctor en ingeniería de computación y de sistemas por el Politécnico de Torino (Italia). Es docente en la Ecole des Mines de Saint-Etienne, Institut Henri Fayol, Departamento de Ingeniería del Ambiente y las Organizaciones; e investigador adjunto del Instituto Francés de Ciencia y Tecnología del Transporte, el Territorio y las Redes, en Marne-la-Vallée (París).

**Jesús
González-Feliu**

