

---

---

# ANÁLISIS DEL TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UTILIZANDO SIMULACIÓN DISCRETA EN 3D

## CONSTRUCTION MATERIALS TRANSPORT AND DISTRIBUTION ANALYSIS USING DISCRETE SIMULATION IN 3D

---

---

**Rodrigo A. Gómez M<sup>1</sup>. & Alexander A. Correa E<sup>2</sup>.**

1. I. I., M Sc, Investigador, Grupo de Investigación Modelamiento de la Gestión de Operaciones(GIMGO), Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín
2. Ph.D Profesor Escuela Ingeniería de la Organización, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín  
ragomez@unal.edu.co, rodrigozm1986@gmail.com; alcorrea@unal.edu.co

Recibido para evaluación: 19 de Septiembre de 2011 / Aceptación: 30 de Octubre de 2011 / Recibida versión final: 2 de Diciembre de 2011

### RESUMEN

El artículo tiene como objetivo utilizar simulación discreta para representar y analizar el desempeño de los procesos de transporte y distribución en empresas mineras de materiales de construcción. Para alcanzar este propósito, se cubren temas como: materiales de construcción, simulación discreta, transporte y distribución. Como resultado del artículo, se obtiene que la simulación discreta permita analizar desempeño del transporte y distribución de manera cuantitativa permitiendo medir cantidades movilizadas, eficacia de los procesos, utilización de recursos. Esto se evidencia en el caso de aplicación de referencia de una empresa que explota Arena en Átaco Tolima dónde se obtuvo una medición cuantitativa de los tiempos promedios de rutas (ruta 1 y 2, tienen en promedio un tiempo de recorrido de 163 y 347 minutos aproximadamente, cantidad de pedidos a los clientes entregados a tiempo (60% de eficacia) y medición cuantitativa de la capacidad utilizada de los recursos logísticos (30%). Además, se debe resaltar los beneficios de utilizar simulación discreta y GOOGLE EARTH ® en el análisis de sistemas de transporte y distribución para la medición de distancias de rutas y ubicación geográfica.

**PALABRAS CLAVE:** Materiales de construcción, Simulación discreta, Transporte, Distribución, Aprovechamiento de recursos, Ataco, Tolima, Colombia

### ABSTRACT

The paper aims to use discrete simulation represent and analyze the performance of transport and distribution processes of Construction Materials. To achieve this purpose, it covers topics such as materials construction, discrete simulation, transportation and distribution. As result of the paper, you get that allows discrete simulation performance analysis of transport and distribution of a quantitative allowing to measure amounts mobilized, processes efficiency, resource utilization. This is evident in the case of application of reference to a company operating in Ataco Tolima Arena where obtained a quantitative measure of the average times of routes (route 1 and 2 have an average running time of 163 and 347 minutes about number of customer orders delivered on time (60% efficiency) and quantitative measurement of capacity utilization logistical resources (30%). Furthermore, it should highlight the benefits discrete simulation using GOOGLE EARTH ® and the analysis of transmission and distribution systems for measuring distances routes and location.

**KEYWORDS:** Construction materials, Discrete simulation, Transport, Distribution, Use of resource, Ataco, Tolima, Colombia

## 1. INTRODUCCIÓN

En la última década la minería en Colombia ha contribuido a la dinamización de la economía nacional a través del crecimiento de las exportaciones de minerales como el carbón, atracción de inversión extranjera en proyectos de exploración y explotación. Inclusive, el PIB minero representa un 1.6% del total nacional, el cual, se encuentra valorado en \$4.4 billones, según el DANE en el 2009(UPME, 2010).

Los materiales de construcción son una cadena productiva del sector minero colombiano orientado a la exploración, explotación y comercialización de minerales como Arena, Calizas, Arcillas, que son utilizados en procesos de producción industrial, construcción de viviendas e infraestructura, de allí la importancia de esta cadena en el desarrollo social y económico del país(Cárdenas y Reina,2008). Respecto a su tamaño, se puede indicar que en el 2010, la producción alcanzó las 11.766.895 Toneladas.

En la cadena productiva de materiales de construcción los procesos logísticos de transporte y distribución pueden considerarse como críticos para la productividad, garantizar niveles adecuados de satisfacción de las necesidades de los clientes y operar a costos adecuados. Para analizar, diseñar y mejorar este tipo de procesos existen diferentes herramientas cuantitativas como la simulación discreta, la teoría de grafos, la investigación de operaciones, la estadística, entre otras.

Por los motivos expuestos, el presente artículo tiene como objetivo utilizar simulación discreta en 3D para representar, estudiar y analizar el desempeño de los procesos de transporte y distribución de la minería de materiales de construcción. Respecto al público del artículo son profesionales, investigadores y estudiantes interesados en conocer herramientas que mejoren el análisis y aprovechamiento de los recursos naturales.

El artículo se estructura en tres partes. La primera es una contextualización teórica y aproximación al estado del arte de la minería de materiales de construcción, la relación con los sistemas de transporte y distribución, y la simulación discreta 3D. La segunda, consiste en el desarrollo de un caso de aplicación que permite la representación en 3D y análisis de desempeño del proceso de transporte y distribución de una empresa minera de materiales de construcción ubicada en Átaco Tolima utilizando simulación discreta con el software SIMIO SIMULATION ® y GOOGLE EARTH®. Finalmente, se presentan las conclusiones.

## 2. MINERÍA DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

En la minería colombiana se explota y comercializan diferentes tipos minerales como: carbón, oro, ferroníquel, materiales de construcción, esmeraldas, entre otros. El carbón y el oro pueden considerarse los minerales más representativos del sector por el crecimiento de volúmenes de exportación aproximadamente en 19.4% por año desde el 2005 y un valor económico de 1537 millones de dólares (Upme, 2010)(SIMCO,2011). Esta situación, refleja la importancia de estos minerales en la economía nacional. Por su parte, los minerales no metálicos, dentro de los cuales se consideran los materiales de construcción no representan un aporte tan importante en volúmenes de exportación, el PIB minero, inversión extranjera, como el carbón y el oro, estos son fundamentales para el desarrollo de la economía nacional en el sector de la construcción, incidiendo directamente en el costo de las edificaciones e infraestructura que se encuentran entre el 29,6% en viviendas al 15.8% en obras de infraestructura vial (UPME,2004b) (Cárdenas y Reina, 2008).

La minería de materiales de construcción se explota en diferentes regiones como: Sabana de Bogotá (Arenas y Arcillas), Luruaco, Ataco-Payande (Arena, Caliza y Arcillas), Oriente y Nordeste Antioqueño(Arenas, Calizas y Arcillas), Paz del Rio(Calizas) y Puerto Nare (Caliza)(SIMCO,2011). Según UPME (2004b): “el comportamiento de los materiales de construcción, que en la última década vienen ganando protagonismo, el cual esta asociado al comportamiento del sector construcción nacional que durante los últimos años ha mostrado gran dinámica y se ve reflejado en la producción de caliza de la industria cementera, que alcanzó su máxima producción durante el año 2007 con 13.229.235,24 de toneladas”.

En la productividad de la minería de materiales de construcción pueden considerarse diferentes factores como: técnicas y tecnologías de explotación, sistemas de transporte interno, comercialización, entre otros aspectos. De los diferentes factores el transporte cobra importancia por el impacto de los costos en el precio de venta, la rentabilidad de la operación minera y el cumplimiento de las condiciones pactadas en tiempo, cantidad y calidad a los clientes, lo cual, incide en su satisfacción. De allí, la importancia de la adecuada gestión, diseño y mejoramiento del transporte en este tipo de mineral.

El transporte y la distribución son procesos logísticos en la cadena de suministro o productiva de los materiales de construcción en Colombia, que permiten movilizar el mineral entre la cantera, patio de almacenamiento o distribución y los clientes ubicados en diferentes lugares geográficos del país (Jacoby y Minten, 2008), (Sánchez, 2008).

El transporte consiste en la transferencia de los productos o minerales desde un punto geográfico de oferta a otro de demanda utilizando diferentes medios como: camiones, férreo, marítimo o fluvial, aéreo y ductos (Robusté, 2005). A continuación, se presenta las características de cada uno de los medios listados (ver Tabla 1)

**Tabla 1.** Medios de transporte

	Ferrocarril	
<b>Camiones</b>	<input type="checkbox"/> Posee costos medios-bajos y buena fiabilidad. <input type="checkbox"/> En Colombia la velocidad de los trenes varían entre 20 y 40 km/hora por las características de las vías férreas. <input type="checkbox"/> Se emplea para realizar el transporte de mineral en altos volúmenes y distancias geográficas (Ballou, 2004). En Colombia, se limita su utilización por la escasa de infraestructura férrea	<b>Fluvial y Marítimo</b>
<input type="checkbox"/> La capacidad de carga de minerales o materiales de construcción es de mediano volumen. <input type="checkbox"/> Permite realizar recogidas y entregas puerta a puerta en las instalaciones de la cantera o patio de almacenamiento, y las instalaciones del cliente. <input type="checkbox"/> Los costos medidos en Ton/Km, es intermedio entre el medio aéreo y ferroviario (Minercol, 2004). <input type="checkbox"/> Puede considerarse como el medio de transporte más utilizado en la minería de materiales de construcción en Colombia, siendo las volquetas de dos y tres ejes.	<b>Aéreo</b>	<input type="checkbox"/> Se utiliza para transportar altos volúmenes de materiales de construcción, aunque su limitación es la velocidad de traslado <input type="checkbox"/> Se utilizan mercancías de altos volúmenes y bajo valor como los materiales de construcción (Anaya, 2007). <input type="checkbox"/> Pueden utilizarse barcas o embarcaciones en ríos o el mar. En el caso de Colombia, en ocasiones se utiliza el río Magdalena.
	<input type="checkbox"/> Ofrece rapidez de transporte origen destino en especial cuando se presentan largas distancias (Robusté, 2008). <input type="checkbox"/> Sus limitaciones se centran en los costos, capacidad de carga y tipo de productos a transportar. <input type="checkbox"/> No se utiliza para el transporte de materiales de construcción por los altos costos que este representa.	

Fuente: Elaboración propia

En la minería de materiales de construcción en Colombia generalmente, se utilizan camiones (volquetas de dos y tres ejes) debido al volumen de la carga en toneladas que se moviliza, la infraestructura de las regiones y la disponibilidad de este medio de transporte.

Por su parte, la distribución puede definirse como la gestión de medios de transporte, instalaciones para el cargue, descargue, productos o materiales de construcción que se distribuyen para satisfacer las necesidades de los clientes considerando tiempos de entrega y costos (Robusté, 2008), (Sánchez, 2008). Por estos motivos, la distribución se convierte en una estrategia que permite que la empresa atienda los pedidos de los clientes en la cadena de suministro considerando las condiciones de calidad, tiempo, lugar y costos, lo cual, es determinante en la eficiencia y eficacia del sistema logístico de las empresas mineras de materiales de construcción.

Para una adecuada gestión, diseño y mejoramiento de los sistemas de transporte y distribución de los materiales de construcción, se pueden utilizar diferentes técnicas cualitativas y cuantitativas que permitan que estos operen con eficiencia y eficacia. Dentro de las técnicas cualitativas, se consideran metodologías como: gestión por procesos, PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar), entre otros. Dentro de las técnicas cuantitativas, se considera la teoría de redes de investigación de operaciones, teoría de grafos, metaheurísticos, y simulación discreta (Chiang, Rusell, Xu y Zepeda, 2009), (Wang y Lu, 2009), (Rodríguez, 2010). Debe resaltarse, que tanto las técnicas cualitativas y cuantitativas apoyan las decisiones de diseño y mejora de los procesos de transporte y distribución de los materiales de construcción.

De las diferentes herramientas la simulación discreta permite la representación de procesos logísticos, incluyendo recursos humanos, equipo de manejo de materiales y políticas considerando condiciones de incertidumbre que permite

evaluar oportunidades de mejora o alternativas de diseño. Por estos motivos, se considera apropiado utilizar la simulación como herramienta para analizar el desempeño y evaluar alternativas de mejora del proceso de transporte y distribución de materiales de construcción.

### **2.1. Simulación discreta en 3D en transporte y distribución de materiales de construcción**

Cómo se indicó con anterioridad, la simulación discreta permite la imitación o representación de procesos y recursos logísticos, incluyendo el transporte y distribución en modelos computacionales considerando incertidumbre sobre los cuales se realizan experimentos con el fin de evaluar el desempeño, diseños u oportunidades de mejora que permitan operaciones eficientes y eficaces (Obaidat y Papadimitriou, 2003).

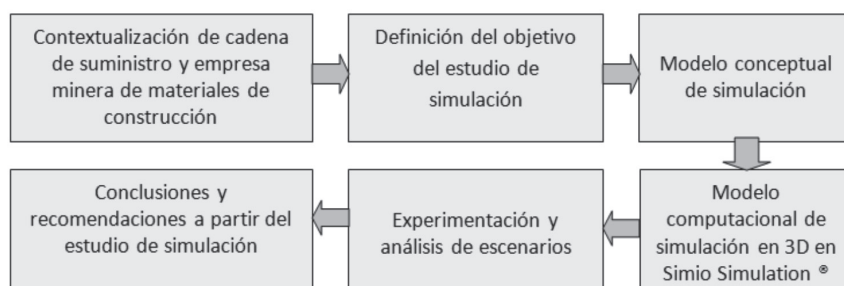
Se realiza una exploración al estado del arte de la utilización de la simulación discreta en el análisis del desempeño, diseño y mejoramiento del sistema de transporte y distribución en artículos científicos de bases de datos como: Science Direct, Taylor and Francis, Emerald, Scholar. De la exploración no se identifican propuestas científicas específicas aplicadas en sistemas de transporte y distribución de minerales y materiales de construcción. En la literatura científica, se encuentran publicados artículos genéricos sobre el tema, que pueden ser apropiados. Entre los resultados encontrados, se considera: a) Utilización de simulación discreta para analizar sistemas logísticos en la cadena de suministro donde el transporte y la distribución son fundamentales para la eficiencia del sistema (Iannoni y Morabito, 2006), b) desarrollan un modelo de micro-simulación para determinar el tamaño de la carga y la selección de los medios de transporte para movilizar los productos en la cadena de suministro (Dejong y Benakiva, 2007), c) plantea un modelo combinado de simulación discreta y metaheurísticos para resolver el problema de integración de la producción y distribución en la administración de la cadena de suministro de un empresa de periódicos (Chiang et al., 2009), d) resolución de problemas de ruteo de vehículos utilizando simulación y algoritmos buscando obtener soluciones óptimas (Juan, Faulin, Ruiz, Barrios, Caballé, 2010), e) elaboran un modelo de simulación con una estrategia de inventarios de seguridad para resolver el ruteo de vehículos en la cadena de suministro considerando condiciones de demanda y condiciones de operación (Juan, Faulin, Grasman, Riera, Marull, y Mendez, 2011).

De la revisión se puede indicar, que la simulación es una herramienta que puede ser utilizada en los sistemas de transporte y distribución para apoyar decisiones de ruteo, análisis de desempeño, entre otros aspectos. Además, no se identifican propuestas específicas para el sector minero de materiales de construcción, pero algunos conceptos revisados pueden ser apropiados.

Por estos motivos, en el ámbito de la cadena de suministro de los materiales de construcción en Colombia, puede utilizarse la simulación discreta para a) representar transporte y distribución en 3D, y considerando condiciones de incertidumbre, b) analizar el desempeño de este procesos, incluyendo variables como: capacidad utilizada, ociosa, tiempo promedio de transporte, análisis de colas, entre otros aspectos determinantes en la medición de la eficiencia y eficacia, y c) evaluar cuantitativamente alternativas de diseño y oportunidades de mejora de políticas, actividades y recursos del proceso de transporte y distribución. Adicionalmente, la utilización de la simulación discreta permite reducir potencialmente los tiempos y costos de análisis, diseño y mejora del transporte y distribución, ya que no se requiere experimentar con el proceso real, sino con el modelo computacional cuando se garantice que este sea válido.

## **3. METODOLOGÍA**

A continuación, se presenta un enfoque metodológico que permite analizar el desempeño del proceso de transporte y distribución en la cadena de suministro de materiales de construcción basado en el uso de la simulación discreta. Las etapas, que se utilizan en la metodología se describen a continuación (ver Figura 1). Se toma como referencia autores como: Obaidat y Papadimitriou (2003), Iannoni y Morabito, 2006), (Dejong y Benakiva, 2007), (Juan et al., 2010), (Juan et al., 2011)



**Figura 1.** Metodología de simulación discreta a transporte y distribución de materiales de construcción

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen las generalidades de cada una de las etapas representadas de la metodología de simulación a emplear en el análisis del desempeño del sistema de transporte y distribución (ver Tabla 2 ).

**Tabla 2.** Descripción de metodología de simulación discreta en el sistema de transporte y distribución

1	Contextualización de cadena de suministro y empresa minera de materiales de construcción	<p>Se presenta la estructura de la cadena de suministro y las características de la empresa minera de materiales de construcción, incluyendo aspectos como: tamaño, procesos logísticos, entre otros aspectos.</p> <p>La contextualización permite orientar y caracterizar la empresa modelo en que se desarrolla el estudio de la simulación.</p>
2	Definición del objetivo del estudio de simulación	<p>Se establece el objetivo del modelo de simulación que puede orientarse a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Analizar y comprender el desempeño del sistema de transporte y distribución de materiales de construcción.</li> <li><input type="checkbox"/> Evaluar alternativas de oportunidad de mejora</li> <li><input type="checkbox"/> Analizar alternativas de diseño</li> </ul>
3	Modelo conceptual de simulación	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Caracterización del proceso de transporte y distribución, incluyendo políticas, operaciones y recursos.</li> <li><input type="checkbox"/> Declaración de las variables de entrada, parámetros y variables respuesta del modelo.</li> <li><input type="checkbox"/> Definición de entidades, servidores, recursos, y otros elementos del modelo de simulación.</li> <li><input type="checkbox"/> Recolección recolección de datos y determinan la distribución estadística de las variables de entrada del modelo de simulación con el apoyo del software estadístico Minitab 15®</li> </ul>
4	Modelo computacional	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Traducción del modelo conceptual al software computacional de simulación discreta en 3D denominado SIMIO SIMULATION®.</li> <li><input type="checkbox"/> El modelo de simulación contiene diferentes módulos de procesos, recursos, entidades, equipo de manejo de materiales, entre otros que permite representar el transporte y distribución de materiales de construcción.</li> <li><input type="checkbox"/> Validación y verificación del modelo de simulación, con el fin de garantizar que apoye el análisis del desempeño del sistema de transporte y distribución.</li> </ul>
5	Análisis de resultados	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Se realiza un análisis de los resultados del estado actual del proceso de transporte y distribución.</li> <li><input type="checkbox"/> La información obtenida facilita el análisis del desempeño y orientación de las oportunidades de mejora para el proceso logístico de transporte y distribución</li> <li><input type="checkbox"/> Con el modelo de simulación validado, se definen algunos escenarios de operación del sistema de transporte y distribución que consiste en cambiar de niveles valores de las variables de entrada y parámetros.</li> <li><input type="checkbox"/> Las variables posibles analizar y experimentar son : cantidad y velocidad de los medios de transporte, red distribución, entre otros.</li> </ul>
6	Conclusiones y recomendaciones a partir del estudio de simulación	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Realizar conclusiones del análisis del desempeño del sistema de transporte y distribución de los materiales de construcción.</li> <li><input type="checkbox"/> Planteamiento de oportunidades de mejora o rediseño de las políticas, operaciones y recursos.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

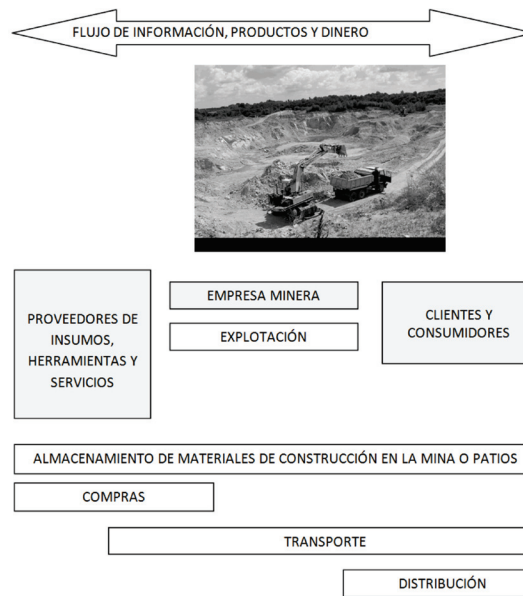
La metodología planteada puede ser adaptada para el análisis del desempeño, evaluación de alternativas de mejora y diseño de políticas, operaciones y recursos de sistemas de transporte y distribución en empresas mineras que realicen actividades de explotación y comercialización de materiales de construcción.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para ejemplificar el uso de la metodología de análisis del desempeño del sistema de transporte y distribución de materiales de construcción, se selecciona como base una empresa minera dedicada a la explotación y comercialización de materiales de construcción (Arena) ubicada en el distrito minero de Ataco y Payande en el departamento del Tolima. A continuación, se desarrollan cada una de las etapas de la metodología planteada.

### 4.1. Contextualización de cadena de suministro y empresa minera de materiales de construcción

Se considera una empresa de mediana escala de explotación y comercialización de materiales de construcción (Arenas) ubicada en el distrito minero de Átaco-Payande, que tiene la siguiente estructura de cadena de suministro (ver Figura 2 )



**Figura 2.** Cadena de suministro de materiales de construcción

Fuente: Elaboración propia

La cadena de suministro de la empresa minera de materiales de construcción tomada de referencia tiene una escala mediana de explotación (Entre 800-1300 Toneladas por mes aproximadamente), desarrolla diferentes procesos logísticos como compras de insumos y herramientas a los proveedores, con el fin ejecutar un plan de explotación que permita extraer la arena que se almacena, transporte y distribución a los clientes en el mercado nacional, especialmente en el departamento del Tolima. Debe resaltarse, que todo el material de construcción explotado es comercializado, por lo cual, el volumen de producción y transporte es igual para la empresa en estudio.

- La empresa tomada como referencia, tiene los siguientes actores en la cadena de suministro:
- Una Cantera de Arena en Átaco departamento de Tolima.

Con clientes ubicados en los siguientes municipios: Ibagué, Espinal, Guamo, Natagaima y Neiva

### 4.2. Definición del objetivo del estudio de simulación

El estudio de simulación busca analizar el desempeño del sistema de transporte y distribución de la empresa minera que explota y comercializa materiales de construcción (Arenas) considerando variables como: capacidad utilizada y ociosa de los medios de transporte, tiempos promedios de transporte de cargas de materiales de construcción, análisis



de colas en procesos de cargue del transporte, entre otros, que permiten medir la eficiencia del proceso logísticos.

### 4.3. Modelo conceptual de simulación

El modelamiento conceptual, se divide en dos partes. La primera, es una caracterización del proceso de transporte y distribución utilizando el método SIPOC (Supplier o proveedor, Input o entrada, Process o proceso, Output o Salida, Customer o cliente). La segunda, definición de las variables de entrada, parámetros y variables de respuesta que se consideran en el diseño, implementación y análisis del modelo de simulación en el proceso logístico en estudio.

#### 4.3.1. Caracterización del sistema de transporte y distribución

A continuación, se presenta la caracterización del sistema de transporte y distribución de la empresa minera de materiales de construcción (ver Tabla 3 )

**Tabla 3.** Caracterización de transporte y distribución de materiales de construcción

Objetivo		Transportar y distribuir los materiales de construcción a los clientes en las condiciones pactadas buscando garantizar su satisfacción y desarrollar una operación a costos adecuados			Responsable de la Operación:		Jefe de transporte y distribución		
Alcance		Desde que se carga el material en las volquetas hasta que se realiza la entrega a los clientes							
N°	Proveedor (Proceso)	Entrada Información (I) o Producto (P)	Actividades	Diagrama de procesos				Salida (Información o Producto)	Cliente (Proceso)
				Operación	Transporte	Espera	Inspección		
1	Cantera o Patio de Almacenamiento	Pedidos de los clientes	Diseñar plan de entregas y rutas de distribución para atender los pedidos de los clientes.	X				Plan de rutas y distribución	Despacho
		Pedidos de los clientes y materiales de construcción a transportar	Pesar y verificar que los materiales de construcción a despachar a los clientes cumplen con las condiciones pactadas con el cliente.	X			X	Materiales de construcción e información de los pedidos	Transporte y clientes
			Realizar el cargue de las volquetas con el material de construcción a despachar.	X					
			Movilizar o transportar el material de construcción a la ubicación geográfica donde se ubican los clientes.		X				
Recursos utilizados				Indicadores					
1 Cargadores o retroexcavadoras con capacidad de cucharas de 1m3				Cantidad de material de construcción despachado					
Báscula de pesaje				Costos de transporte y distribución					
Medios de transporte: 10 Volquetas de 7 m3 y 10 Toneladas de capacidad				% Utilización de volquetas					
1 Operario de la retroexcavadora, 1 auxiliar de despacho y personal de transporte				Tiempos promedios de entrega					

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2. Entidades, Variables de entrada, respuesta del modelo de simulación

Entidad: Pedidos de materiales de construcción realizados por los clientes de la ruta o secuencia 1 y ruta 2 para distribuir.

Variables de entrada:

- Tiempo entre llegada de pedidos (TLLP) a transportar asociado al plan de despacho.
- Distancia entre la cantera y la ubicación geográfica de los clientes(Km)(DEL: Distancia entre lugares)
- Velocidad promedio de las volquetas(VPV)
- Capacidad de las volquetas(CV)

Variables de respuesta:

- Cantidad de pedidos transportados en la ruta 1 y 2 que permite atender las necesidades de los clientes.
- Tiempo promedio de transporte de los materiales de construcción(min)
- Tiempo (min) y cantidad de pedidos (unidades) en cola en los procesos de cargue y transporte materiales de construcción.
- %Utilización de instalaciones logísticas de transporte y distribución.

Recursos:

- Instalaciones como cantera, patio de almacenamiento y clientes.
- Volquetas que transporta materiales de construcción.

### 4.3.3. Supuestos y características a modelar en el sistema de transporte y distribución

- Se tienen 10 volquetas subcontratadas las cuales realizan el transporte del material de construcción a una velocidad promedio de 60 km/hora. Esta velocidad puede considerarse como la permitida para transitar por las carreteras de Tolima, Colombia.
- Cada volqueta transporta pedidos que permiten atender las necesidades de los clientes.
- Las distancias en km entre el patio de almacenamiento contiguo a la cantera y los diferentes clientes de la empresa, se presentan a continuación (ver Tabla 4). Para la medición de las distancias, se utiliza la herramienta de medición de Google Earth®

**Tabla 4.** Distancia entre puntos geográficos de la ruta de transporte de la empresa minera

Distancias entre lugares geográficos	Distancia en Km
Patio de almacenamiento a cliente A	96,19 Km
Cliente A cliente B	50,99 Km
Cliente B a Cliente C	17,26 km
Cliente C a Cliente D	50,42 km
Cliente D a Cliente E	69,60 km
Cliente E al Patio de Almacenamiento	63,20 km
Cliente D a Terminal Logística de parqueo de Volquetas	1 km

Fuente: Elaboración propia

Cantera con Patio de Almacenamiento: Átaco, Tolima

Terminal Logística de parqueo de Volquetas

Cliente A: Ibagué

Cliente B: Espinal

Cliente C: Guamo

Cliente D: Natagaima

Cliente E: Neiva

- Se tiene una política de transporte y distribución, en la cual, se establecen dos rutas:

Ruta o secuencia 1: Átaco, Ibagué y Natagaima

Ruta o secuencia 2: Átaco, Ibagué, Espinal, Guamo y Neiva

Los pedidos de los clientes, se dividen en estas dos rutas o secuencias debido a volúmenes e importancia.



A continuación, se realiza una representación geográfica de los diferentes puntos que se visitan en el transporte de materiales de construcción. Se utiliza la herramienta Google Earth®(ver Figura 3)

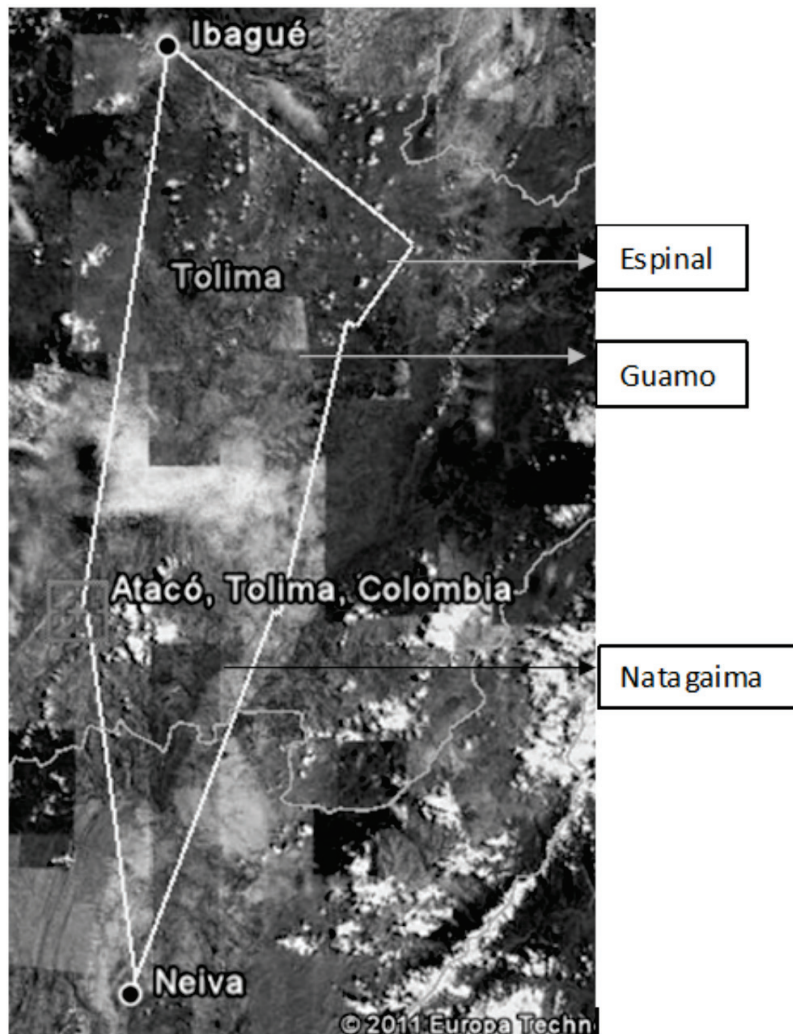


Figura 3. Ruta geográfica para despachar materiales a los clientes.  
Fuente: Elaboración propia, Google Earth®

Debe aclararse, que Google Earth® se utiliza para definir las posiciones geográficas y las distancias en km entre la mina y los clientes. Esta información, se utiliza en el modelo de simulación discreta.

#### 4.3.4. Modelo computacional de simulación en 3D de transporte y distribución desarrollado en SIMIO SIMULATION®

A continuación, se presenta el modelo de simulación discreta 3D en Simio Simulación, el cual consiste en representar el modelo conceptual descrito en el subnumeral anterior, incluyendo entidades, recursos y variables del proceso logístico de transporte y distribución de materiales de construcción.

- Módulos de la librería de Simio Simulation

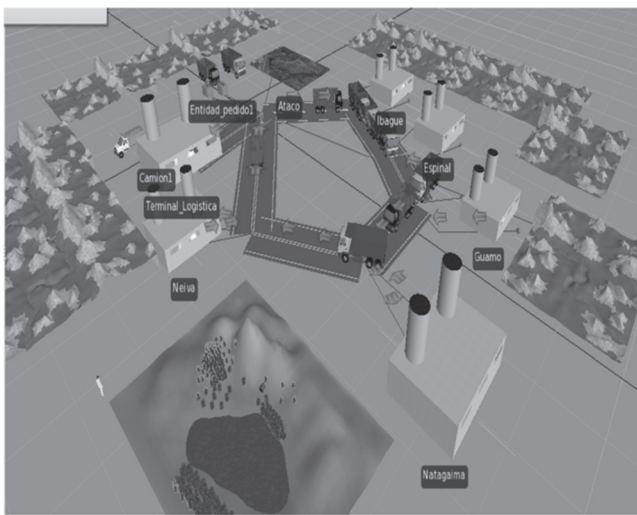
Para realizar el análisis del sistema de transporte y distribución de la empresa de materiales de construcción, se utilizan los siguientes módulos de la librería del software de simulación discreta 3D Simio Simulation (ver Tabla 5 )

**Tabla 5.** Módulos de Simio Simulation® utilizados en modelo de simulación de transporte y distribución de materiales de construcción

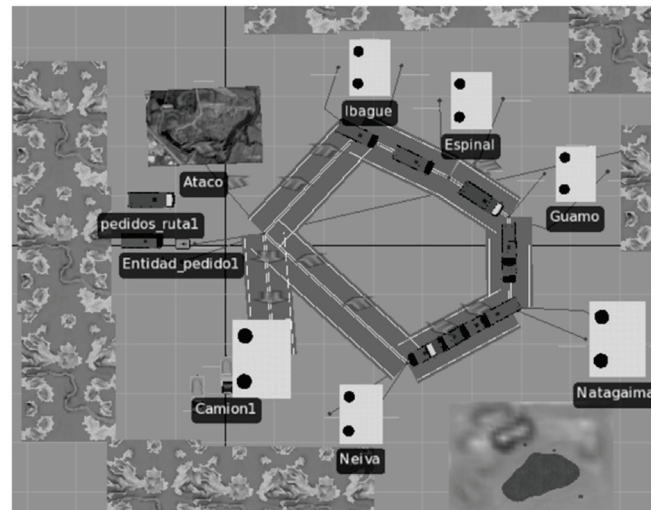
Modulo	Funcionalidad																														
Entities	<ul style="list-style-type: none"> <li>Creación y descripción de las entidades pedidos ruta 1 y ruta 2.</li> <li>En este modulo se asocian las rutas o lugares geográficos que se visitan en el transporte y distribución</li> </ul>																														
Source	<ul style="list-style-type: none"> <li>Permite crear las entidades pedidos ruta 1 y ruta 2 para realizar el transporte y distribución.</li> <li>La creación de las entidades se realiza a través de un calendario de llegadas denominado "Time Varying Arrival Rate", que permite establecer la hora en que se realizan los despachos.</li> </ul> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Starting Offset</th> <th>Ending Offset</th> <th>Rate (events per hour)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Day 1, 00:00:00</td><td>Day 1, 01:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 01:00:00</td><td>Day 1, 02:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 02:00:00</td><td>Day 1, 03:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 03:00:00</td><td>Day 1, 04:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 04:00:00</td><td>Day 1, 05:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 05:00:00</td><td>Day 1, 06:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 06:00:00</td><td>Day 1, 07:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 07:00:00</td><td>Day 1, 08:00:00</td><td>1</td></tr> <tr><td>Day 1, 08:00:00</td><td>Day 1, 09:00:00</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Starting Offset	Ending Offset	Rate (events per hour)	Day 1, 00:00:00	Day 1, 01:00:00	1	Day 1, 01:00:00	Day 1, 02:00:00	1	Day 1, 02:00:00	Day 1, 03:00:00	1	Day 1, 03:00:00	Day 1, 04:00:00	1	Day 1, 04:00:00	Day 1, 05:00:00	1	Day 1, 05:00:00	Day 1, 06:00:00	1	Day 1, 06:00:00	Day 1, 07:00:00	1	Day 1, 07:00:00	Day 1, 08:00:00	1	Day 1, 08:00:00	Day 1, 09:00:00	1
Starting Offset	Ending Offset	Rate (events per hour)																													
Day 1, 00:00:00	Day 1, 01:00:00	1																													
Day 1, 01:00:00	Day 1, 02:00:00	1																													
Day 1, 02:00:00	Day 1, 03:00:00	1																													
Day 1, 03:00:00	Day 1, 04:00:00	1																													
Day 1, 04:00:00	Day 1, 05:00:00	1																													
Day 1, 05:00:00	Day 1, 06:00:00	1																													
Day 1, 06:00:00	Day 1, 07:00:00	1																													
Day 1, 07:00:00	Day 1, 08:00:00	1																													
Day 1, 08:00:00	Day 1, 09:00:00	1																													
Server y Data_Tables	<ul style="list-style-type: none"> <li>Este modulo permite crear la secuencia o ruta de transporte y distribución de cada uno de los pedidos. Ruta o secuencia 1: Átaco, Ibagué y Natagaima Ruta o secuencia 2: Átaco, Ibagué, Espinal, Guamo y Neiva</li> <li>Cada uno de los lugares geográficos se asocia en el modelo de simulación como un modulo "server", con el fin de asociar un tiempo de descarga del material de construcción solicitado por el cliente.</li> <li>El tiempo promedio de descargue del material de construcción se distribuye aproximadamente como una normal con media de 15 minutos y una desviación estándar de 5 minutos. El tiempo de des carga es mayor que la carga porque incluye pesaje, inspección y revisión de documentación.</li> <li>El tiempo promedio de carga del material de construcción, se distribuye normalmente con una media de 10 minutos con una desviación estándar de 2 minutos.</li> <li>Utilización del objeto <i>Basic Node</i> facilita el establecimiento de las rutas que deben visitar las volquetas para distribuir el material de construcción a los clientes.</li> <li>Los <i>Transfer Node</i> permite habilitar las rutas que deben seguir las volquetas y la medición de los diferentes flujos en el modelo de simulación, incluyendo la generación de estadísticas.</li> </ul>																														
Paths (caminos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para establecer la distancia en km entre los diferentes puntos geográficos en que se encuentra la cantera (Átaco) y los clientes, se utiliza el modulo <i>path</i>.</li> <li>Las distancias utilizadas son las halladas con la herramienta Google Earth®(ver Tabla 4)</li> </ul>																														
Run	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para realizar las corridas y generación de estadísticas se realizan corridas de simulación una duración de 10 horas.</li> <li>Se garantiza que el sistema reinicializa las estadísticas en cada una de las corridas.</li> </ul>																														

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el modelo de simulación en 3D y 2D del transporte de materiales de construcción desarrollado en el SIMIO SIMULATION®.



**Figura 4.** Imagen de modelo de simulación en 3D de transporte y distribución en SIMIO SIMULATION. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** Imagen de modelo de simulación en 2D de transporte y distribución en SIMIO SIMULATION. Fuente: Elaboración propia.

Para la validación y verificación del modelo de simulación discreta, se realiza una revisión de las actividades, recursos, variables y supuestos caracterizados conceptualmente con el modelo computacional desarrollado en el software SIMIO SIMULATION®. Adicionalmente, se evalúa la coherencia y adaptación a la realidad de los resultados generados por los resultados del modelo de simulación respecto al comportamiento real del proceso de transporte y distribución en la empresa minera de materiales de construcción. En el presente caso, los resultados del modelo son coherentes con la cantidad de pedidos despachados y cantidad rutas realizadas por las volquetas en el proceso de distribución. Por estos motivos, se considera la validez del modelo, y es adecuado para realizar el análisis de desempeño actual del proceso de transporte y distribución.

#### **4.3.5. Análisis del desempeño actual del proceso de transporte y distribución de la empresa minera de explotación de materiales de construcción(Arena)**

Al realizar cinco replicas del modelo de simulación discreta de transporte y distribución con una duración de cada replica de 12 horas, se obtienen los siguientes resultados que permiten estudiar el desempeño del proceso logístico:

En la actualidad la empresa cuenta con una programación de despacho de 28 pedidos que deben ser transportados y distribuidos a los clientes con el fin de atender los requerimientos del mercado. De los 28 pedidos, los resultados del modelo de simulación indica que 17 a una eficiencia del 60%

En la ruta 1 que se atienden los pedidos de los clientes ubicados Ibagué y Natagaima en promedio se programan 9 pedidos de 10Ton de materiales de construcción, y se envían el mismo día 7. Esto demuestra una eficacia en los despachos de la empresa minera del 78% aproximadamente.

La Ruta 2 que permite atender los clientes ubicados en Ibagué, Espinal, Guamo y Neiva programa en promedio 19 despachos por día de los cuales aproximadamente 10 se distribuyen y entregan a tiempo, lo cual, permite establecer una eficacia del 52%, lo cual, refleja una adecuada estrategia de distribución y satisfacción de las necesidades de mejora.

Respecto a los tiempos promedios en horas en que se desarrollan cada una de las rutas de distribución, se puede indicar que: a) la ruta 1(Ibagué, Natagaima y retorno a las instalaciones logísticas de la minina) tiene un tiempo de transporte obtenido de la simulación es de: 164 minutos aproximadamente. b) La ruta 2 (Átaco, Ibagué, Espinal, Guamo, Neiva y retorno a las instalaciones logística de la mina tiene un tiempo promedio de: 347 minutos. Esta situación evidencia la necesidad de una adecuada gestión de la ruta 2, ya que tiene una cobertura de transporte y distribución mayor en distancia y tiempo, lo cual impacta en la eficiencia y eficacia del sistema logístico de la empresa minera.

El proceso de cargue de las volquetas utilizando una retroexcavadora tuvo un tiempo en promedio de 9 minutos, lo cual, evidencia la agilidad de este proceso cuando se desarrolla con el apoyo de un equipo de manejo de materiales. Adicionalmente, del 100% de la capacidad disponible en el cargue y despacho, el modelo de simulación presenta una capacidad utilizada del 31% evidenciando un 71% de capacidad instalada disponible.

En la actualidad la empresa utiliza en promedio 10 volquetas para atender los requerimientos de los clientes en el mercado con una eficacia del 60%. Esta situación debe conllevar a un análisis de planeación y control del transporte y distribución como aporte a la productividad y la satisfacción de las necesidades de los clientes.

#### **4.3.6. Conclusiones y recomendaciones del estudio de simulación del transporte y distribución de materiales de construcción**

A partir del análisis del estado actual del sistema de transporte y distribución, se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se debe realizar un plan de mejoramiento a la gestión y secuencia de la distribución de la ruta 2 que atiende a los clientes ubicados en los municipios de Ibagué, Espinal, Guamo y Neiva, ya que la eficacia o entregas a tiempo tiene un nivel aproximado del 52%, lo cual afecta directamente la productividad y servicio al cliente de la organización.
- Identificación de oportunidades de mejora en la utilización y aumento de actividades en el proceso de despacho y cargue de los medios de transporte en la cantera, ya que en promedio se está utilizando un 30% de la capacidad instalada. Esta situación, puede permitir el aumento de la productividad y satisfacción de las necesidades de los clientes, ya que se pueden contratar más volquetas, y realizar su despacho de manera ágil en tiempo por la disponibilidad de capacidad instalada.
- Se debe analizar las políticas de ruteo y asignación de las volquetas para realizar el transporte y distribución, con el fin de mejorar la eficacia y la eficiencia, lo cual, impacta en la productividad y satisfacción del cliente.

## 5. CONCLUSIONES

Del artículo se identifica la importancia del sector minero en el desarrollo de la economía nacional, las exportaciones y el aporte al PIB, lo cual, permite ratificar la importancia de la productividad y competitividad del sector.

Se puede indicar la relevancia del subsector minero de materiales de construcción para la productividad y competitividad del país, ya que este es proveedor del sector de la construcción de infraestructura y vivienda, los cuales, son dinamizadores de la economía nacional por su impacto en el empleo, calidad de vida y económico. Por estos motivos, se identificó la importancia de desarrollar estrategias que aumenten la productividad.

Del artículo, se identifica la importancia de una adecuada gestión, diseño y mejoramiento de los sistemas de transporte y distribución en la cadena productiva de los materiales de construcción, ya que estos procesos logísticos impactan en los costos, satisfacción del cliente y uso adecuado de los recursos de la empresa minera.

Respecto al uso de la simulación discreta como herramienta de representación en 3D que permite un análisis del desempeño del sistema de transporte y distribución de la cadena productiva de los materiales de construcción considerando incertidumbre, apoya el análisis de tiempos de procesos, medición de la eficiencia y eficacia de las rutas y los recursos, capacidad utilizada, entre otros aspectos, basándose en un modelo computacional en 3D válido, que elimina la necesidad de experimentación y estudio del sistema real.

Del caso de estudio realizado que toma de referencia una empresa que explota Arena Átaco, Tolima Colombia, se identificó y validó los beneficios de utilizar simulación discreta como herramienta para analizar el desempeño de los procesos de transporte y distribución a través de la medición cuantitativa de tiempos promedios de rutas (ruta 1 y 2, tienen en promedio un tiempo de recorrido de 163 y 347 minutos aproximadamente, cantidad de pedidos a los clientes entregados a tiempo (60% de eficacia) y medición cuantitativa de la capacidad utilizada de los recursos logísticos (30%). Además, se debe resaltar los beneficios de utilizar simulación discreta en el análisis de sistemas de transporte y distribución para la medición de distancias de rutas y ubicación geográfica. De otra parte, GOOGLE EARTH® permitió representar las ubicaciones geográficas de los actores de la cadena de suministro y definir las distancias, lo cual, contribuyó al modelamiento del transporte y la distribución de los materiales de construcción.

Otro resultado que se obtiene de la simulación, es una estimación de la eficacia de la utiliza para atender los requerimientos de los clientes en el mercado con una eficacia del 60%. Esta situación debe conllevar a un análisis de planeación y control del transporte y distribución como aporte a la productividad y la satisfacción de las necesidades de los clientes



Finalmente, se puede indicar que el uso de la simulación discreta en el análisis del transporte y la distribución en la minería permite representar, analizar el desempeño actual y apoyar la identificación de oportunidades de mejora. Por estos motivos, se busca desarrollar trabajos futuros que permita utilizar la simulación con otras herramientas cuantitativas estadísticas, metaheurísticos que mejoren la capacidad de análisis, y contribuyan potencialmente la productividad y satisfacción de las necesidades de los clientes.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Anaya, J. 2007. Logística integral: la gestión operativa de la empresa  
ESIC Editorial, Madrid, pag 86
- Ballou, R., 2004. Business Logistics management. Prentice Hall, The United States. Pag 252.
- Cárdenas. M y Reina.M., 2008, La minería en Colombia: Impacto Socioeconómico y fiscal, Fedesarrollo, Colombia. Pag 10-15.
- Chiang.W, Rusell.R, Xu.X y Zepeda.D,2009. A simulation/metaheuristic approach to newspaper production and distribution supply chain problems. International Journal of Production Economics Vol 121, N° 2, pp 752-767.
- Dejong.G y Benakiva.M, 2007. A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice, Transportation Research Part B: Methodological, vol. 41, no. 9, pp. 950-965.
- Iannoni.A y Morabito.R, 2006 «A discrete simulation analysis of a logistics supply system», Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 42, no. 3, pp. 191-210.
- Jacoby,H y Minten,B,2008. On measuring the benefits of lower transport costs. Journal of Development Economics, Vol 89,N° 1, pp 28-38.
- Juan.A, Faulin.J, Ruiz.R, Barrios.B y Caballé.S, 2010. The SR-GCWS hybrid algorithm for solving the capacitated vehicle routing problem», Applied Soft Computing, vol. 10, no. 1, pp. 215-224.
- Juan.A, Faulin.J, Grasman.S, Riera.D, Marull.J, y Mendez.C , 2011 «Using safety stocks and simulation to solve the vehicle routing problem with stochastic demands», Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 19, no. 5, págs. 751-765, Ago. 2011.
- MINERCOL, 2004. Guía Ambiental Transporte del Carbón. Bogotá: Editorial Marín Vieco Ltda., 31 p.
- Obaidat.M y Papadimitriou,G,2003. Applied system simulation: methodologies and applications. 1° ed. Massachusetts: Springer, p 34
- Robusté, F, 2008. Logística del transporte. UPC Barcelona, pág. 56.
- Rodríguez, A, 2010. Teoría de grafos [En línea]. disponible en: <<http://personales.upv.es/aroedru/grafos/>>
- Sanchez, R.V., 2008. Establishing a transport operation focused uncertainty model for the supply chain. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management Vol. 38 No. 5, pp. 388-411
- SIMCO, 2010. Minería del carbón [En línea].Colombia, [citado27-08-11]. Disponible en internet:< <http://www.simco.gov.co>>
- SIMCO, 2011. Producción Minera Nacional [En línea].Colombia, [citado23-12-11]. Disponible en internet:< <http://www.simco.gov.co>>
- UPME, 2010. Distritos Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990-2010. Bogotá: UPME. 71p
- UPME, 2004a, Distritos Mineros: Exportaciones e Infraestructura de Transporte. [en línea].
- UPME, 2004b.Plan Nacional para el desarrollo minero visión 2019. [en línea]. Colombia, [citado10-09-11].Disponible en Internet: < [http://www.upme.gov.co/Docs/PNDM\\_2019\\_Final.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/PNDM_2019_Final.pdf)>
- Wang C and Lu J, 2009. A hybrid genetic algorithm that optimizes capacitated vehicle routing problems. En: Expert Systems with Applications. N° 36; p. 2921–2936.

