



Facultad de Ingeniería
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Grado – Primer Semestre 2018

Trabajo de grado en modalidad de aplicación

**Modelo de colaboración entre Pymes productoras de
accesorios de PVC para la empresa GDPLAST en Bogotá.**

José Alejandro Girón Corso^{a,c}, Gabriel Steven Delgado Árias^{a,c}

Clara Mabel Solano Vanegas^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial
^bProfesor, director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial
^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Resumen en ingles

The present degree work consists of the Design of a collaboration model for smaller, and middle-class companies that are dedicate to the transformation and commercialization of the properties of polyvinyl-chloride. This commercialization is specifically in Bogotá. This model includes two modules. The first, consists of ranking for suppliers in agreement to qualitative criteria. In this case we use the process of analytic hierarchical. The second model corresponds to the production programming of the GDPLAST and the PYMES in which are found inside the model. This is utilized in the method of tabu search, in which minimizes the daily delay dealing with "single machine" environment with parallel machinery. The tabu is initiated with what we call the SPT dispatching rule. The module programming results were compared with the actual real life GDPLAST and the SPT and CR dispatching rule.

The PYMES ranking model is a list of companies ranked in accordance with the GDPLAST qualification which was assigned to each one of them based on the criteria. The input for the second model in which generates a daily simulation. This programs the production for all the companies inside the model. In which, demands the GDPLAST and the production of PYMES. Parallel the design is applicable in excel, Visual Basic, in which allows the GDPLAST save information from its providers, products, and clients. Which applies to the collaboration module. The designed model allows the demands that the GDPLAST does not fully understand, due to its limitations for production. In addition, they analyzed the economic, and social impact of the collaboration module.

Resumen en español

El presente trabajo de grado, consiste en el diseño de un modelo de colaboración para las pequeñas y medianas empresas que se dedican a la transformación y la comercialización de accesorios de Policloruro de vinilo (PVC), específicamente en Bogotá. Este modelo contempla dos módulos, el primero, consiste en la jerarquización de proveedores de acuerdo a criterios cualitativos, para ello, se hace uso de la metodología Proceso Analítico Jerárquico (AHP). El segundo, corresponde a la programación de la producción de GDPLAST y las PYMES colaboradoras que se encuentran dentro del modelo, para esto, se utilizó el método de búsqueda tabú que minimiza la tardanza promedio diaria dentro de un ambiente "single machine" con m maquinas paralelas. El tabú fue inicializado con la regla de despacho SPT y se corrió para 100 instancias aleatorias. Los resultados del módulo de programación de la producción se compararon con la situación actual de GDPLAST y las reglas de

despacho SPT y CR.

El resultado del módulo de jerarquización de las PYMES proveedoras es una lista de empresas, jerarquizadas de acuerdo con la calificación que GDPLAST le asigne a cada una de ellas por cada criterio y será insumo para el segundo módulo, el cual generara una simulación diaria que programara la producción para todas las empresas dentro del modelo, de acuerdo con la demanda de GDPLAST y la producción de las PYMES proveedoras. Paralelamente, se diseñó un aplicativo en Excel, visual basic, el cual permite a GDPLAST guardar la información de sus proveedores, productos y clientes y hacer uso de los dos módulos correspondientes al modelo de colaboración. El modelo diseñado, permite responder a la demanda que actualmente la empresa GDPLAST no está atendiendo, debido a limitaciones en su capacidad de producción. Adicionalmente, se analizó el impacto económico y social de la posible implantación del modelo de colaboración.

Palabras claves: Colaboración, Proveedores, coordinación, tabú, single machine, maquinas paralelas.

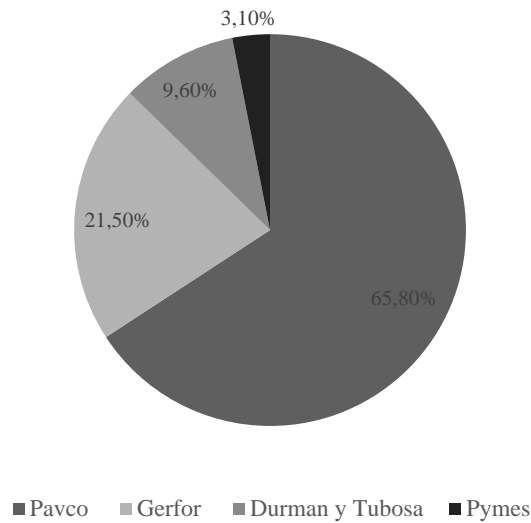
1. Justificación y planteamiento del problema

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en América Latina tienen un papel fundamental en la generación de empleo y de ingresos, así como en la erradicación de la pobreza y en la aceleración de la economía local, representando un 90% de la estructura empresarial de la región, contribuyendo en algunos países hasta con un 50% del PIB. (Alvarez, 2009).

Estas empresas aportan de forma importante a la economía y a la sociedad, cuando se observan como grupos articulados. De hecho, en la actualidad algunas PYMES, buscando ser competitivas conforman redes para enfrentar la competencia de las grandes empresas (Marcin, 2016). Se encuentran ejemplos de estas colaboraciones como Soap & Beauty Lab, que son un caso de asociación de pequeñas empresas en México, fabricantes de productos corporales naturales, libres de químicos que compite con empresas de gran tamaño como Francobel o Layroch (Aimecs,2017). Así mismo en Colombia, se encuentran alianzas en el mercado textil de empresas productoras y comercializadoras de jeans en Medellín que generan valor agregado al enfrentar en conjunto el mercado ofreciendo como atributo diferenciador diseño y moda (Cámara de Comercio de Medellín, 2017). Igualmente, este tipo de alianzas se observa en Neiva, específicamente por parte de empresas productoras del sector de tejidos industriales, lo que ha conllevado a mejoras en su competitividad (Camargo, 2017). Otro ejemplo es el caso del concesionario “Los Coches” y la ensambladora “Chevrolet” quienes trabajaron en conjunto por varios años, pero que al terminar la alianza, “Los Coches” presentó una disminución de aproximadamente 9.500 unidades de ventas en anuales. El impacto positivo de las alianzas en la gestión de las empresas se observa en el aumento de ventas e incremento de locales nuevos, que esta misma empresa obtuvo al establecer nuevos convenios con otras marcas (Dinero, 2013).

En el sector industrial de producción de artículos en Policloruro de vinilo (PVC) en Colombia, las PYMES trabajan de forma aislada e independiente. Este sector está compuesto principalmente por empresas pequeñas con activos entre 500 y 5.000 SMMLV (salarios mínimos legales) (Bancoldex, 2017). Específicamente en Colombia, este mercado generó ventas de 9.342.519 millones de pesos en el 2015 (Benchmark, 2017), las cuales según son aportadas en un 3.1% por PYMES utilizando aproximadamente 198.000 empleos directos, lo cual evidencia el aporte de estas empresas al sector (Dinero, 2016). A continuación, se muestra la distribución del mercado de tubería en PVC (tal como se observa gráficamente en la *figura 1*):

Figura 1 Distribución de las ventas en el sector de PVC



Dinero (2016). La 'moñona' de Mexichem

GDPLAST está ubicada en la localidad de Patio Bonito, en el barrio Dedalito, fue constituida en el año 2016, producto de la separación de acciones por cuenta de los socios de la empresa DPLAST, la cual permaneció durante 6 años compitiendo en el mercado de los productos en PVC. Actualmente, sus propietarios son Gabriel Steven Delgado, Harrison Delgado y Gabriel Ramiro Delgado, con una participación accionaria de 24%, 24 % y 52% respectivamente, ejerciendo el cargo de Gerente General este último. Hoy GDPLAST es productora de accesorios en PVC y su portafolio se encuentra clasificado en 3 grupos; accesorios para la instalación de sanitario, dentro del cual se encuentran incluidos todos los accesorios utilizados para el montaje de tuberías sanitarias. Entre ellos se tienen: codos, tees, yeas, uniones, bujes soldados y sifones. El segundo grupo son los accesorios de la tubería eléctrica: este conjunto de accesorios está conformado por cajas rectangulares, octogonales y cuadradas. Por último, se encuentran los accesorios para tubería a presión, los cuales son utilizados en las instalaciones de agua a presión en casas y/u oficinas, entre ellos se encuentran codos, uniones, adaptadores macho, tees, adaptadores hembra y tapones lisos.

Según la información suministrada por el gerente de GDPLAST, la empresa actualmente genera un promedio de ventas anuales entre 800 y 1.000 millones de pesos, con utilidades entre 90 y 120 millones de pesos anuales (Anexo 1). Hoy GDPLAST dispone únicamente de una máquina inyectora y ocho moldes para accesorios de tubería sanitaria, los cuales no son suficientes para atender el total de su portafolio. Esta situación, según los diagnósticos presentados en el anexo 5, ocurre de la misma forma en las cinco PYMES incluidas en el modelo. Actualmente, GDPLAST no cuenta con los recursos financieros para comprar las máquinas y los moldes suficientes para cubrir su portafolio, por lo tanto, no se está atendiendo la demanda a tiempo y esto conlleva a la pérdida de los clientes y de utilidades debido a los costos por tardanzas. A continuación, en la *tabla 1*, se presentan los costos por tardanzas en la empresa GDPLAST para los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2017 y en la *tabla 1* y en la *figura 2* se expone el comportamiento de la tardanza promedio en horas de GDPLAST para los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Mes	Septiembre	Octubre	Noviembre
Costo por tardanzas (mensual)	\$ 368.553,89	\$ 392.080,61	\$ 333.213,89

Tabla 1 Costo por tardanzas en GDPLAST para los meses septiembre, octubre y noviembre

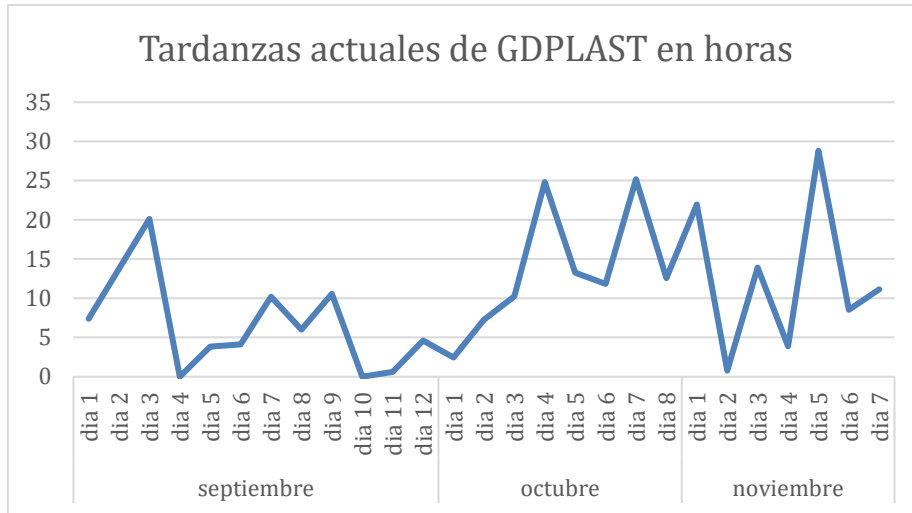


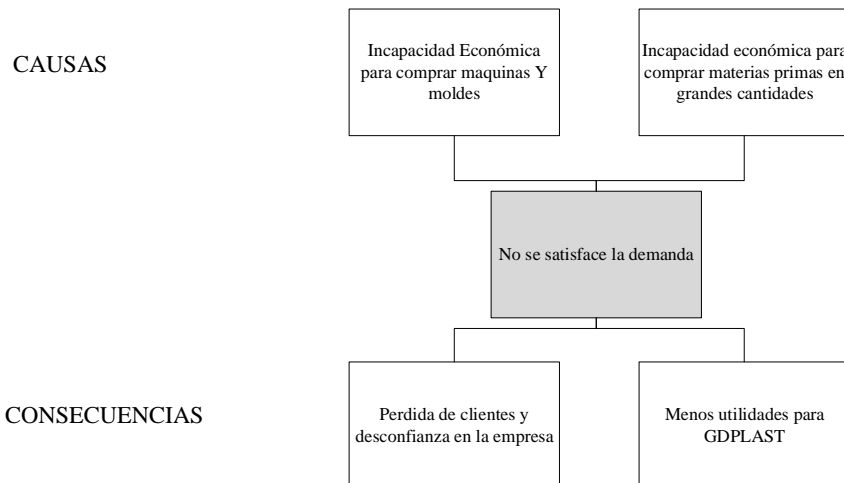
Figura 2 Comportamiento de las tardanzas en la empresa GDPLAST para los meses de septiembre, octubre y noviembre

promedio tardanza (horas)		
Septiembre	Octubre	Noviembre
6,767	13,457	12,718

Tabla 2 Promedio tardanzas en horas en la empresa GDPLAST para los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre

La problemática descrita la padece GDPLAST, así como gran parte de las otras PYMES del sector, en razón a su limitado tamaño y a su restringido poder de financiación, lo cual las pone en desventaja ante empresas como PAVCO y GERFOR, quienes sí cuentan con alta capacidad financiera para realizar compras de máquinas, moldes y materias primas en grandes volúmenes y a bajos precios al único proveedor de materia prima del sector: CRINO (Dinero,2004). En ocasiones GDPLAST, para satisfacer la demanda cuando los moldes no son suficientes para atender la totalidad de los pedidos, ha recurrido a la compra de los productos de otras PYMES, (Ver anexo 2 y 3), sin embargo, en la actualidad GDLPLAST no dispone de un proceso definido que le permita seleccionar el mejor proveedor, según criterios de selección apropiados, a pesar de ello, las PYMES muestran la intención de trabajar conjuntamente.

Figura 3 Árbol de problemas de la situación de GDPLAST



Fuente: Construcción de los autores

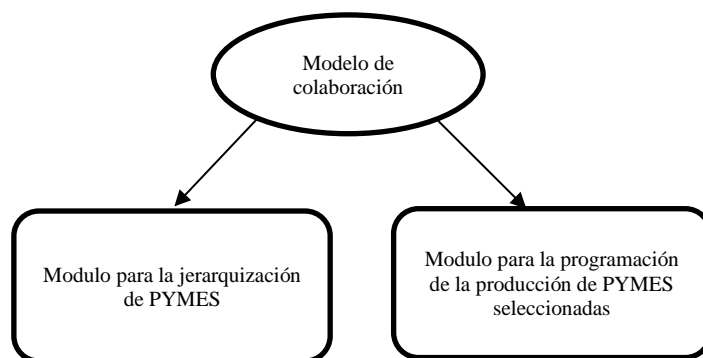
Por lo anterior, según la *figura 3*, donde se observan en los cuadros superiores las causas y en los inferiores la consecuencia se puede establecer como problema de investigación la siguiente pregunta:

¿Cómo diseñar un modelo para la jerarquización y programación de la producción de los proveedores de forma tal que permita satisfacer la demanda a GDPLAST y coordinar producción de las PYMES?

Para atender a tiempo la demanda de GDPLAST, se diseñó un modelo de colaboración entre GDPLAST y las PYMES (ver *figura 4*) compuesto por dos módulos: El primer módulo encargado de la jerarquización de proveedores y el segundo enfocado en la programación de la producción para cada una de las PYMES dentro del modelo de colaboración. Este modelo se implementó utilizando Excel 2017, el cual es el software disponible actualmente en GDPLAST y las PYMES.

Nota: se referirá como modulo a cada una a cada una de partes del modelo de colaboración.

Figura 4 Modelo de Colaboración con Proveedores para GDPLAST



Fuente: Construcción de los autores

2. Antecedentes

La sección de antecedentes está dividida en dos partes, en la primera, se enseñan dos estudios empíricos, los cuales muestran la importancia de los modelos de colaboración entre PYMES para la disminución de los costos y generación de nuevas ideas para el aumento de su productividad. En segundo lugar, se abordó el tema de la jerarquización de proveedores, teniendo en cuenta para ello once artículos, en los cuales se utilizaron herramientas de decisión multicriterio para la evaluación y selección de proveedores. Para ello, se desglosó cada uno de los artículos en el objetivo general, los criterios que utilizaron, el método aplicado para desarrollar el objetivo y las ventajas y desventajas del método.

Una de las estrategias empresariales más eficientes de las PYMES para operar con éxito en un contexto competitivo es la creación de vínculos de colaboración. A través de estos vínculos, las empresas son capaces de acelerar sus procesos de aprendizaje, alcanzar economías a escala, disminuir costos, ser más competitivas y concentrarse en los ámbitos donde tienen ventajas competitivas. En los mercados globales las empresas individuales no logran ser competitivas, solamente las redes o cadenas de empresas son aquellas que son capaces de competir en una economía cada vez más volátil (BID, 2012)

Según (López , Maldonado , Pinzón , & García , 2015), entre más grande sea el nivel de colaboración, más altos son los niveles de innovación en la productividad de las PYMES. Para corroborar esta afirmación, los autores utilizaron como marco de referencia 1,242 empresas ubicadas en Aguascalientes, México. A su vez, con una muestra de 400 empresas, los autores concluyeron que, la colaboración entre PYMES permite que las organizaciones aprovechen mejor los recursos económicos y técnicos que poseen, por lo tanto, según lo afirmado por los investigadores, se puede afirmar que las

PYMES que trabajan dentro de un modelo de colaboración son más productivas.

La eficiencia de los modelos de colaboración entre PYMES depende de cada uno de los miembros que la conforman, razón por la cual, las empresas invierten en establecer relaciones sólidas entre los actores con el objetivo de ser más competitivas (López , Maldonado , Pinzón , & García , 2015). Para lo anterior, se requiere definir cuáles son los proveedores que deben integrarse a la cadena y los acuerdos a establecer con ellos (Kant y Dalvi, 2017).

Comprendiendo la relevancia de este tema, Khatri & Manoj Srivastava proponen un modelo que intenta resolver el problema de la selección de proveedores en el sector de tecnología, considerando variables como sostenibilidad ambiental, económica y social, así como la relación con el cliente, flexibilidad y conocimientos técnicos de los proveedores. Estos investigadores plantearon algunos criterios para la selección de proveedores así como herramienta de análisis el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la selección de las empresas por su facilidad de implementación y uso por PYMES (Khatri & Manoj Srivastava, 2016). De igual forma , algunos investigadores (Shi, Yan, Shi, & Ke, 2014) (Liu, Chu, Yin, & Sun, 2015) proponen el uso del modelo Análisis Envolvente de Datos (DEA), como algoritmo para la selección de proveedores, siendo DEA un método no paramétrico para la evaluación de un grupo de unidades de decisión independiente (DMUs) (Liu, Chu, Yin, & Sun, 2015).

El tema de selección de proveedores es un tema de gran interés y relevancia investigativa, lo cual se puede observar en la *tabla 3*, donde se presentan 11 trabajos, en los cuales se aplica las herramientas para la jerarquización de proveedores en PYMES. Para facilitar la lectura de los resultados de las tablas 4, 5, 6,7 y 8, se asigna a cada trabajo un código con el cual se identificarán los documentos en forma más resumida, según se observa a continuación en la *tabla 3*.

Código	Artículo
1	Khatri, J., & Srivastava, M. (2016). Technology selection for sustainable supply chains.
2	Badri Ahmadi, H., Wang, X., & Hashemi Petrudi, S. H. (2016). Integrating sustainability into supplier selection with analytical hierarchy process and improved grey relational analysis: a case of telecom industry.
3	Chitnis, A., & Vaidya, O. S. (2016). Efficiency ranking method using DEA and TOPSIS (ERM-DT): case of an Indian bank. Análisis desde la resolución del problema con la metodología DEA
4	Chitnis, A., & Vaidya, O. S. (2016). Efficiency ranking method using DEA and TOPSIS (ERM-DT): case of an Indian bank. Análisis desde la resolución del problema con la metodología TOPSIS(ERM-DT)
5	Hu, H. Y., Chiu, S. I., Yen, T. M., & Cheng, C. C. (2015). Assessment of supplier quality performance of computer manufacturing industry by using ANP and DEMATEL.
6	Mahdilo, M., Saen, R. F., & Lee, K.-H. (2015). Technical, environmental and eco-efficiency measurement for supplier selection: An extension and application of data envelopment analysis.
7	Mohammaditabar, D., Ghodspour, S. H., & Hafezalkotob, A. (2016). A game theoretic analysis in capacity- constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs.
8	Beikkhakhian, Y., Javanmardi, M., Karbasian, M., & Khayambashi, B. (2015). The application of ISM model in evaluating agile suppliers selection criteria and ranking suppliers using fuzzy TOPSIS-AHP methods.
9	Rao, C., Xiao, X., Goh, M., Zheng, J., & Wen, J. (2017). Compound mechanism design of supplier selection based on multi-attribute auction and risk management of supply chain.
10	Bohner, C., & Minner, S. (2017). Supplier selection under failure risk, quantity and business volume discounts.
11	Che, Z. H. (2017). A multi-objective optimization algorithm for solving the supplier selection problem with assembly sequence planning and assembly line balancing.

Tabla 3 Lista de los artículos relacionados en la revisión bibliográfica.

La selección de proveedores es una temática que ha sido abordada por múltiples investigadores por ser un punto crítico para definir por las empresas focales al constituir las redes de suministro, específicamente en cuanto al tema de abastecimiento. De hecho, como se observa en la *tabla 4*, en la columna “Frecuencia de aparición del objetivo en los documentos” se observa la pertinencia del tema al ser este el de mayor frecuencia. Adicionalmente, el interés de estudiar el mejoramiento en la evaluación de los criterios de selección y el análisis mecanismos de evaluación de desempeño de los proveedores,

son otros aspectos de interés por parte de los autores.

Objetivos de Investigación	Artículos											Frecuencia de aparición del objetivo en los documentos
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Selección de un Proveedor	X	X			X				X	X	X	6
Mejora de la evaluación en los criterios			X	X			X	X				4
Evaluación del desempeño un proveedor				X	X	X						3

Tabla 4 Objetivo de los artículos

A continuación, se elaborará una tabla de los criterios que se utilizaron en los 11 artículos investigados, con el objetivo de examinarlos y contrastarlos con la realidad y las necesidades actuales de DPLAST. los criterios con los cuales se observa en la *tabla 5*, que los criterios como la sostenibilidad económica, criterios técnicos y eficiencia son los considerados con mayor énfasis por los investigadores del tema.

Criterios para la selección y evaluación de proveedores	Artículos											Frecuencia de aparición del criterio en los documentos revisados
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Sostenibilidad Ambiental	X	X				X						3
Eficiencia			X	X			X		X			4
Sostenibilidad Social	X	X								X		3
Orientación con el cliente	X							X				2
Sostenibilidad Económica	X	X						X	X	X		5
Flexibilidad	X									X		2
Confiabilidad de Entrega					X		X					2
Diseño					X							1
Servicio Postventa					X					X		2
Gama de Productos					X							1
Calidad del Producto					X		X	X			X	3
Velocidad de entrega					X		X	X				2
Precio					X				X			2
Criterios técnicos	X		X	X		X			X			5

Tabla 5 Parámetros para la decisión de los artículos.

De acuerdo con los objetivos y los criterios propuestos, Yıldız, A. y Yayla, A. (2015) establecen las siguientes categorías de métodos para la solución del problema de selección de proveedores.

1. **Métodos individuales:** Algunos métodos representativos de este grupo son: Análisis Envolvente de Datos (DEA), Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), Proceso Analítico de Red (ANP), Programación Lineal (LP), Programación Multi-objetivo (MOP) y Algoritmo Genético (GA).
2. **Métodos Híbridos:** Se componen por dos o más métodos individuales y entre sus mayores exponentes se encuentran: Proceso de Jerarquía Analítica Híbrido (AHP-GP), el cual es la

unión entre el método AHP y programación por metas (GP) y el Proceso Analítico de Red híbrido (ANP), el cual se compone por el modelo ANP y TOPSIS.

Por lo anterior y según lo revisado en la *tabla 6*, los autores recurren al Análisis Envolvente de Datos (DEA) y el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) de forma recurrente para resolver el problema de selección y evaluación de proveedores.

Método	Artículos											Frecuencia de aparición de los métodos en los documentos revisados
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
TOPSIS				X					X			2
ANP					X							1
AHP	X	X					X		X			4
DEA			X			X					X	3
LP										X		1
MCE									X			1
ISM								X				1

Tabla 6 Método escogido por los autores.

Desventajas de los métodos	Métodos	
	AHP	DEA
Se requiere normalizar las Variables	X	X
Toda la información debe estar disponible	X	X
Se requiere alto conocimiento del tema		
Información Difusa	X	
No más de 20 Proveedores		
Resultados difíciles de obtener		
Computacionalmente intensiva	X	X
Dificultad para estimar la puntuación máxima		X
Frecuencia de aparición de las desventajas de cada uno de los métodos	4	4

Tabla 7 Ventajas de los métodos escogidos por los autores

A continuación, se presentarán las ventajas y las desventajas de los dos métodos más usados en los 11 artículos investigados. El método DEA se aplica tanto en variables cuantitativas como en cualitativas, presentando como ventaja el no requerir de programas avanzados para su aplicación. Adicionalmente ofrece como ventaja un buen poder de discriminación. Sin embargo, para utilizarlo se requiere la normalización de las variables y contar con bastante información. Por el otro lado, el Proceso de Jerarquía Analítica, ofrece como ventajas su simplicidad de construcción y la facilidad de comprensión, lo cual facilita su aplicación por parte de las empresas. Al igual que el DEA, no requiere programas avanzados de software para su aplicación e igualmente requiere trabajar con variables normalizadas. Las ventajas anteriormente mencionadas se observan en la *tabla 7* y las desventajas en la *8*.

Ventajas del método	Método	
	AHP	DEA
Menos Cálculos para el mismo resultado	X	
Simplicidad	X	
Fácil de entender	X	
Aplicable a criterios Cualitativos y Cuantitativos	X	X
Menos limitaciones al aplicarlo		
Considera la Interdependencia entre proveedores	X	
Mide la Ineficiencia		X
No necesita programas avanzados	X	X
Mejor poder de discriminación	X	X
Frecuencia de aparición de las ventajas de cada uno de los métodos	7	4

Tabla 8 Desventajas del método escogido por los autores

En vista de que los datos, en relación con los criterios de selección de proveedores, suministrados por GDPLAST son de tipo cualitativo y la empresa no cuenta con software avanzado se seleccionó el método AHP, para el desarrollo del modelo.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Proponer un modelo de colaboración entre PYMES productoras de accesorios de Policloruro de vinilo (PVC) para la empresa GDPLAST en Bogotá.

3.2. Objetivos específicos

1. Definir el método de selección de las PYMES proveedoras que satisfaga la demanda de GDPLAST.
2. Definir la programación de la producción de las PYMES seleccionadas para colaborar con la empresa GDPLAST.
3. Diseñar una aplicación de software que seleccione las PYMES proveedoras.
4. Diseñar una aplicación de software que programe la producción de las PYMES seleccionadas.
5. Validar la aplicación futura del software simulando su operación con los datos reales de GDPLAST.
6. Evaluar la viabilidad financiera y social de la implementación de la aplicación de software por parte de GDPLAST.

4. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se realizaron las siguientes fases, aplicando los siguientes métodos:

	Objetivos	Fases de desarrollo	Métodos aplicados
0	Pre-desarrollo de objetivos	Diagnostico Empresarial	OIT
1	Definir el método de selección de las PYMES proveedoras que satisfaga la demanda de GDPLAST.	Modelo de jerarquización para proveedores de acuerdo con criterios cualitativos utilizando herramientas de decisión multicriterio.	AHP
2	Definir la programación de la producción de las PYMES seleccionadas para colaborar con la empresa GDPLAST.	Modelo de programación de la producción para la minimización de la tardanza promedio en un ambiente “single machine” con m maquinas paralelas.	SPT -TABU
3	Diseñar una aplicación de software que seleccione las PYMES proveedoras.	Aplicativo para la empresa GDPLAST	Visual Basic
4	Diseñar una aplicación de software que programe la producción de las PYMES seleccionadas.	Aplicativo para la empresa GDPLAST	Visual Basic
5	Validar la aplicación futura del software simulando su operación con los datos reales de GDPLAST.	Validación del modelo con datos reales suministrados por GDPLAST y pronósticos de demanda de sus proveedores.	Simulación del Modelo
6	Evaluar la viabilidad financiera y social de la implementación de la aplicación de software por parte de GDPLAST.	Indicadores financieros y análisis de impacto social	Comparación con las reglas de despacho SPT y CR

Tabla 9 Tabla Resumen – Metodología

Para el diseño del modelo y su aplicación en software, se aplicarán los primeros tres pasos de la metodología de mejora continua DMAIC (Design, Measurement, Analysis, Improvement and Control) presentada por la norma ISO 13053 del 2011. Esto implica que se realizara el Diseño del modelo y de la aplicación en software, la cual se probara mediante una simulación, se analizaran los resultados y se mejoraran los aspectos de revisión detectados.

4.1. Diagnóstico Empresarial.

Acorde con las fases establecidas en la metodología, a priori se realizó el diagnóstico de las PYMES de acuerdo con lo publicado por la (OIT. Organización Internacional del Trabajo, 1998). Se consideraron tres aspectos empresariales. En primer lugar, se hizo el costeo de cada producto fabricado por las empresas que se encuentran en el modelo. En segundo lugar, se realizó un análisis de tiempos, obteniendo de este, el tiempo que tarda una empresa en fabricar una unidad de cada accesorio de PVC. Por último, se recolectaron los datos de demanda en la empresa GDPLAST para los meses de septiembre, octubre y noviembre del presente año, con la información suministrada por los dueños de la compañía. El formato diseñado y aplicado en esta investigación se puede consultar en el *anexo 4*. Los formatos que soportan los diagnósticos para cada empresa dentro del modelo se encuentran *anexo 5*.

a. Diagnóstico de Costos

En cuanto al diagnóstico de costos, se utilizó el sistema de costeo por pedido, en el cual los elementos de producción se identifican por cada orden o trabajo. Este sistema de costeo es adecuado para las PYMES en cuestión, dado que, su producción es por pedidos, lotes y especificaciones de los clientes, por lo tanto, su producción es diversificada y flexible (Jiménez , 2010). Adicionalmente, se establece el punto de equilibrio

unitario por producto para posteriormente ser utilizado como indicador del nivel de cubrimiento de costos financieros. (R.L.Kleinberg, S.Paltsev, Ebinger, D.A.Hobbs, & T.Boersma, 2017) . El desarrollo del diagnóstico de costos se encuentra en el *anexo 5*.

Finalmente, se registró en horas la fecha del pedido y la fecha de finalización de la producción de cada uno de los productos que se demandaron a GDPLAST en los últimos tres meses. Los datos fueron empleados para calcular la tardanza de cada uno de los productos, con el objetivo de encontrar el costo por tardanzas que actualmente viene presentando la empresa GDPLAST. Se considera que existe una tardanza cuando el accesorio no se ha terminado de fabricar después de 24 horas de haberse hecho el pedido, dado que, en la totalidad del pedido debe completarse un día después de haberse hecho la solicitud.

b. Diagnóstico Operacional

Con respecto al Diagnostico Operacional, se registraron las actividades relacionadas con la producción de accesorios de tubería sanitaria de PVC en cada una de las empresas seleccionadas para el modelo. Para este fin, se desarrolló un estudio de tiempos de proceso, donde se identificó el tiempo de producción de cada uno de los productos que fabrican los proveedores, validando esta información a través de expertos (operarios de más de 5 años de antigüedad en el área de producción de cada empresa que hace parte del modelo) (OIT. Organización Internacional del Trabajo, 1998).

Así mismo se construyeron los diagramas de proceso, que ilustran con claridad la forma en que se efectúa un trabajo y que permiten visualizar la entrada de todos los componentes al proceso (OIT. Organización Internacional del Trabajo, 1998). Los diagramas utilizados para este propósito fueron dos; en primer lugar, el diagrama de flujo de procesos, también conocido como cursograma. En segundo lugar, se construyó el diagrama de operaciones, el cual muestra la secuencia cronológica de las operaciones e inspecciones que se utilizan en un proceso de manufactura, desde la llegada de la materia prima hasta el empaquetado del producto terminado (Fernández , González , & Puente , 1996). Los diagramas de proceso se presentan en el *anexo 5*.

c. Diagnóstico de la demanda de GDPLAST y simulación de la demanda de los proveedores.

En la última fase del diagnóstico se registró la demanda diaria de accesorios de tubería sanitaria de PVC en GDPLAST, correspondiente a los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2017. Esta actividad se desarrolló con el propósito de comprender el comportamiento de la demanda diaria en una empresa PYME, que tiene características similares a todos los proveedores que participaron en el modelo, en cuanto a su número de empleados y capacidad de producción.

Como se afirmó anteriormente, las PYMES elegidas como proveedoras para GDPLAST tienen características similares, lo que permite obtener sus demandas de acuerdo al comportamiento de la demanda de GDPLAST. Existen seis variables que determinan el comportamiento de la demanda de GDPLAST. Estas variables se mencionan a continuación, en la *tabla 10*.

Conjuntos	Significado
m	Meses
s	Días
j	Número de Pedidos
l	Numero de Productos

Tabla 10 Conjuntos correspondientes a la simulación de la demanda de las empresas PYMES dentro del modelo

Variable	Significado
D_m	Número de días en los cuales se hace algún pedido para cada mes m.
dia_{sm}	Días en el que se hace el pedido en el mes m. Ejemplo: 1 de septiembre, 2 de septiembre, 30 de septiembre
P_s	Número de pedidos por cada día i
N_j	Número de productos que contiene cada pedido
n_{lj}	Producto l solicitado para el pedido j
x_{lj}	Cantidad del producto l solicitado para el pedido j

Tabla 11 Variables que determinan el comportamiento de la demanda en las PYMES productoras de accesorios de PVC.

Simulación de las demandas de los proveedores (Instancias)

Utilizando las pruebas Kolmogórov-Smirnov y Chi-Cuadrado, con ayuda de IBM SPSS Statistics y Arena Master Development, se analizó el comportamiento de las variables mencionadas en la *tabla 11* y se obtuvo la distribución de cada una de estas, con sus parámetros. A través de estas distribuciones, se generaron variables aleatorias que simulan el comportamiento de la demanda de cada uno de los proveedores dentro de modelo de colaboración. Para ello, se generaron números aleatorios de $[0,1]$ y se obtuvo las variables aleatorias a través de la función de distribución acumulada (Fetz & Oberguggenberger, 2016).

Para la creación de números aleatorios se utilizó el método lineal de congruencias, introducido por Lehmer (1951), que consiste en generar la secuencia por recurrencia a partir de una semilla (número inicial), según la fórmula (Salmerón & Morales, 2001) :

$$X_{n+1} = (aX_n + c) \bmod m, i = 0,1,2,\dots \quad (1)$$

En donde,

a, es el multiplicador ($0 \leq a < m$)

m, el módulo ($m > 0$)

c, el incremento ($0 \leq c < m$), si $c \neq 0$ es llamado método mixto de congruencia.

Si $c = 0$ es llamado método multiplicativo de congruencia

X_0 , semilla ($0 \leq c < m$)

Es importante escoger muy bien los valores de a, c, m y X_0 , puesto que incide en las propiedades estadísticas y la longitud del ciclo del generador. Para simular de la demanda de los proveedores, se utilizó el generador de números aleatorios propuesto por (Marsaglia & Zaman, 1993), el cual ha tenido buenos resultados y ha sido implementado en algunos computadores de IBM (Fishman & Moore, 1986) y por la Convex Corp (Vattulainen, Kankaala, Saarinen, & Ala-Nissila, 1995). Este generador propone un módulo de 2^{32} , una constante multiplicativa igual a 69069, un incremento de 0 y una semilla de 1.

4.2. Diseño del módulo de jerarquización para proveedores de acuerdo con criterios cualitativos utilizando herramientas de decisión multicriterio.

Este módulo busca priorizar los proveedores con los cuales la empresa GDPLAST pretende trabajar en conjunto para atender la demanda y a su vez, encontrar aquellas empresas proveedoras que mejor se ajustan a las necesidades de la alianza, teniendo en cuenta criterios cualitativos y utilizando para este fin el Proceso Analítico Jerárquico. Las empresas que se encuentran dentro del modelo de colaboración son aquellas con las cuales, GDPLAST ha tenido contacto desde su creación en el 2016 y fueron seleccionadas por el gerente de GDPLAST. Para el uso futuro de la herramienta se creó un listado que contiene 113 PYMES productoras de accesorios de PVC en Bogotá, el cual fue entregado a la empresa GDPLAST, *anexo 12*. Si GDPLAST requiere trabajar con una de las empresas del listado y realizar la respectiva evaluación es esta, lo podrá hacer utilizando el módulo para la jerarquización de los proveedores.

Las empresas seleccionadas para participar en el modelo de colaboración se presentan en la *tabla 12*.

Empresas seleccionadas para participar en el modelo de colaboración		
Empresa	Gerente	Dirección
Heraplast	Javier Herazo	Calle 38 S 72 I-22
Dplast SAS	Fernando Delgado	Carrera 59 # 5B – 50
Comercializadora Rafael Ovalle SAS	Rafael Ovalle	Calle 55 sur N° 86B – 03
Importaciones Sigor	Grimaldo Sierra	Calle 35 sur N° 68M - 44
P&C	Arístides Mojica	Carrera 96 # 129-09

Tabla 12 Empresas proveedoras dentro del modelo de colaboración

De acuerdo con la entrevista a profundidad a GDPLAST, la cual se encuentra transcrita en el *anexo 6*, y los criterios enumerados en la *tabla 13*, se establecieron los criterios de evaluación para los proveedores que colaboraran con GDPLAST, los cuales se presentan en la *tabla 13* y son valorados en el *anexo 9*. Para la implementación futura del modelo de colaboración se propone como método para la selección de los criterios por parte de GDPLAST la puntuación de todos los criterios mencionados en la *tabla 13* y usar el proceso analítico jerárquico para tomar una decisión en relación a que criterios usar.

Artículo	Criterios
Hu, H. Y., Chiu, S. I., Yen, T. M., & Cheng, C. (2015). Assessment of supplier quality performance of computer manufacturing industry by using ANP and DEMATEL.	Precios
	Confiabilidad de entrega
	Velocidad de entrega
	Conformidad de entrega
	Gama de productos
	Diseño de los productos
	Distribución
	Nombre de la marca
	Enlace técnico y Soporte
	Soporte después de la venta
Badri Ahmadi, H., Wang, X., & Hashemi Petrudi, S. H. (2016). Integrating sustainability into supplier selection with analytical hierarchy process and improved grey relational analysis: a case of telecom industry.	Imagen social corporativa
	Sistema de gestión Ambiental
	Terminado del producto
	Calidad
	Servicio al cliente
Rao, C., Xiao, X., Goh, M., Zheng, J., & Wen, J. (2017). Compound mechanism design of supplier selection based on multi-attribute auction and risk management of supply chain.	Costo
	Calidad del producto
	Precio
	Tiempo de entrega
	Riesgo de la información
	Manejo del riesgo

	Riesgo Social
Khatri, J., & Srivastava, M. (2016). Technology selection for sustainable supply chains.	Sostenibilidad Ambiental
	Sostenibilidad Social
	Orientación al consumidor
	criterios técnicos
	Flexibilidad
	Sustentabilidad económica
Chitnis, A., & Vaidya, O. S. (2016). Efficiency ranking method using DEA and TOPSIS (ERM-DT): case of an Indian bank.	Eficiencia del proveedor
	Calidad del material
Mohammaditabar, D., Ghodsypour, S. H., & Hafezalkotob, A. (2016). A game theoretic analysis in capacity- constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs.	Precisión en la entrega
	Calidad del producto
	Confianza en el proveedor

Tabla 13 Criterios de los artículos investigados.

A continuación, en la *tabla 14*, se presentan los criterios seleccionados por GDPLAST para ser utilizados en el modulo para la jerarquización de los proveedores.

Criterios

<i>Nombre del criterio</i>	<i>Descripción</i>
<i>Confianza</i>	Según (Paparoidamis, Katsikeas, & Cumpitaz, 2017), la voluntad entre el proveedor y el cliente para realizar un intercambio comercial es uno de los aspectos que definen la confianza. Por otro lado, la confianza resulta de la percepción de honestidad, la cual se evidencia en aspectos relacionados con el cumplimiento de lo pactado, en cuanto a cantidad, fechas de entrega, lugar y características del producto. (Ver <i>anexo 6</i> , donde se presenta la Entrevista a profundidad uno de los dueños de GDPLAST). De hecho, (SCOR®, 2018) establece como indicadores el cumplimiento de la orden perfecta (tipo, cantidad, fecha de entrega).
<i>Calidad</i>	Existe una definición aceptada de calidad, la cual es entregada por la Organización Internacional de Estándares, acorde con esta, la calidad es el grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos (2004). Específicamente en el caso de los productos de PVC, según el <i>anexo 6</i> , se juzga la calidad de los productos de cada proveedor con base a su materia prima, entendiéndola como grado de pureza, grado de humedad y color. De igual forma se consideran las características del producto terminado según las especificaciones técnicas de cada producto según la norma NTC 2795.
<i>Servicio al cliente</i>	La definición de servicio al cliente varía de acuerdo al mercado. Según el gerente de GDPLAST, en el sector de productos de PVC, las características que miden el servicio al cliente de un proveedor son: el grado de disponibilidad en el momento de la atención por parte del proveedor, la atención en el sitio al cliente, la Capacidad y el tiempo de respuesta para la atención de los pedidos, la atención post-venta y, por último, el seguimiento por parte del proveedor del proceso postventa.

Tabla 14 Criterios propuestos para el programa de jerarquización de proveedores

Los criterios se evaluaron de 1 a 10 por el gerente de GDPLAST, según la importancia que él le daba a cada uno estos para el desarrollo del modelo. Posteriormente, el gerente califico cada una de las empresas de acuerdo con la percepción de las mismas, en relación con los criterios propuestos *anexo 9*. (Khatri & Srivastava, 2016) utilizo un método para evaluar de manera eficiente cada uno de los criterios propuestos, el cual consiste en desglosar los criterios en subcriterios, que permitan al evaluador abordar la calificación de los criterios a través de indicadores, los cuales le se presentan en la en la *tabla 15*. Cada uno de los proveedores fue calificado por GDPLAST en una escala de 1 a 100 de acuerdo a cada subcriterio.

Criterios	Subcriterios
Confianza	Cumplimiento de la entrega (Tipo del Producto)
	Cumplimiento de la entrega (Cantidad del Producto)
	Cumplimiento de la entrega (Fecha de la entrega)
Calidad	Grado de Pureza
	Grado de Humedad
	Cumplimiento de las especificaciones del producto
Servicio al Cliente	Atención Postventa
	Porcentaje de llamadas atendidas
	Capacidad de respuesta en la llamada

Tabla 15 Subcriterios propuestos para cada uno de los criterios utilizados en el módulo de jerarquización de proveedores.

El criterio *Confianza* fue evaluado de acuerdo a los indicadores de orden perfecta (SCOR®, 2018), para ello, GDPLAST califico a cada uno de los proveedores dentro modelo conforme a los siguientes indicadores.

$$TP = \frac{\text{Numero de pedidos que cuplieron el tipo de producto solicitado en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de pedidos totales en los ultimos 6 meses}} * 100$$

$$CP = \frac{\text{Numero de pedidos que cuplieron con la cantidad del producto en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de pedidos totales en los ultimos 6 meses}} * 100$$

$$FE = \frac{\text{Numero de pedidos que cuplieron con la fecha de entrega en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de pedidos totales en los ultimos 6 meses}} * 100$$

El valor resultante de cada uno de los indicadores corresponderá a la puntuación que GDPLAST asigna a cada uno de los proveedores dentro del modelo de colaboración con relación a los subcriterios pertenecientes al criterio *confianza*.

El criterio *Calidad* fue evaluado de acuerdo a la opinión de confianza expuesta por el gerente de GDPLAST para el caso específico de los accesorios de PVC. para ello, GDPLAST califico a cada uno de los proveedores dentro modelo conforme a los siguientes indicadores.

$$GP = \frac{\text{Numero de pedidos en los cuales las pruebas a los accesorios arrojaron un nivel de pureza superior al 93% * en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de pedidos totales en los ultimos 6 meses}} * 100$$

$$GP = \frac{\text{Numero de pedidos en los cuales las pruebas a los accesorios arrojaron un nivel de humeda inferior al 3 % * en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de pedidos totales en los ultimos 6 meses}} * 100$$

$$EP = \frac{\text{Numero de pedidos en los cuales se cumplieron las especificaciones del producto de acuerdo a la norma NTC 2795.}}{\text{Numero de pedidos totales en los ultimos 6 meses}} * 100$$

* Los límites de pureza y de humedad permitidos son aquellos que GDPLAST tolera al instante de realizar las pruebas de calidad a los accesorios de PVC recibidos de sus proveedores.

El valor resultante de cada uno de los indicadores corresponderá a la puntuación que GDPLAST asigna a cada uno de los proveedores dentro del modelo de colaboración con relación a los subcriterios pertenecientes al criterio *Calidad*.

El criterio *servicio al cliente* fue evaluado de acuerdo a la noción de servicio al cliente expuesta por el gerente de GDPLAST para el caso específico de los accesorios de PVC. para ello, GDPLAST califico a cada uno de los proveedores dentro modelo conforme a los siguientes indicadores.

$$AP = \frac{\text{Numero de pedidos que segun GDPLAST cumplieron con la atención postventa en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de pedidos totales en los ultimos 6 meses}} * 100$$

$$CP = \frac{\text{Numero de llamadas atendidas en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de llamadas realizadas al proveedor en los ultimos 6 meses}} * 100$$

$$FE = \frac{\text{Numero de llamadas a los proveedores que atendieron positivamente a la solicitud de GDPLAST en los ultimos 6 meses}}{\text{Numero de llamadas realizadas al proveedor en los ultimos los ultimos 6 meses}} * 100$$

El valor resultante de cada uno de los indicadores corresponderá a la puntuación que GDPLAST asigna a cada uno de los proveedores dentro del modelo de colaboración con relación a los subcriterios pertenecientes al criterio *servicio al cliente*.

a. Herramienta utilizada para el diseño del módulo para la jerarquización de los proveedores: Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

La metodología AHP fue desarrollada por (Saaty, 1980), para el problema de toma de decisiones multicriterio, con la capacidad de considerar factores tangibles e intangibles y estructurar problemas de manera jerárquica a partir de criterios cualitativos y cuantitativos. AHP asigna pesos a varias alternativas usando el principio de comparación por pares y asigna un puntaje sintético a cada proveedor (Chan & Chan 2004). Esta herramienta utiliza elementos del algebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel cuando se tiene en consideración varios criterios, estas características hacen que la herramienta sea compatible con el problema de selección de proveedores (Osorio & Orejuela, 2008).

En un ambiente corporativo, AHP es una de las herramientas más efectivas para la evaluación de proveedores (Bradi, Hashemi , & Wang , 2017). Las principales ventajas de la herramienta es su simplicidad, robustez en el proceso de toma de decisiones. AHP proporciona un medio para descomponer un problema complejo de decisión en sub-problemas que son más simples de evaluar y permite flexibilidad para enfrentar cambios en los elementos de manera que no afecten la estructura total el modelo (Osorio & Orejuela, 2008). En la *tabla 16* se presenta la notación usada para la construcción del módulo de jerarquización de proveedores.

Notación	Significado
<i>N</i>	Conjunto de niveles del Proceso AHP
<i>i</i>	Conjuntos de criterios a evaluar
<i>k</i>	Conjuntos de subcriterios que representan los criterios

m y n	Conjunto de alternativas a evaluar
C	Numero de criterios
N	Numero de niveles del Proceso AHP
S_i	Numero de subcriterios para cada criterio
P	Numero de proveedores
$Pareja[i, k, m, n]$	Valor absoluto de la diferencia de puntajes asignado al proveedor m con el puntaje asignado al proveedor n para cada uno de los subcriterios y criterios
$Valor_max_Pareja [i, k]$	El valor máximo de todas las diferencias de los puntajes asignados de todos los productos de un subcriterio y un criterio
$b[i, k, m, n]$	Valor de la división entre el resultado de la diferencia de los puntajes de los proveedores y el valor máximo de todas las diferencias de puntajes de los proveedores por el número mayor de la escala de preferencias.
$MP[i, k, m, n]$	Matriz de comparaciones pareadas para las alternativas. Toma valores de 1 a 9
$EigenVector[m, k]$	Puntaje final logrado por el proveedor m para cada uno de los subcriterios k .
$Matriz_sumatoria_criterios[m, i]$	Sumatoria de todos los puntajes logrados por cada uno de los proveedores m para cada criterio j

Tabla 16 Notación del modelo AHP

Acorde con el proceso para la resolución de problemas de decisión y jerarquización con la herramienta AHP, se separó el problema en niveles, los cuales fueron organizados de acuerdo con la relación y subordinación entre ellos. En el nivel superior se encuentra la meta o el problema a ser resuelto. En segundo lugar, de arriba abajo, se encuentran los criterios y debajo de estos, sus subcriterios. Por último, se ubican las alternativas, que acorde con el modelo de colaboración, están conformadas por los proveedores a evaluar (Khatri & Srivastava, 2016). Dicho de otra manera, un modo de leer el problema podría ser, las alternativas se evalúan con unos cada uno de los subcriterios, que a su vez se desglosan de unos criterios, que pretenden resolver un problema de toma de decisiones.

Con base a la evaluación entregada por los dueños de GDPLAST para cada uno de sus proveedores, se construye una matriz de comparaciones pareadas, característica de la herramienta AHP, esta matriz contiene la preferencia por una alternativa u otra con base a cada uno de los subcriterios, por lo general se evalúa este nivel de preferencia mediante una escala que va del 1 al 9 siendo 1 igualmente preferible y 9 extremadamente preferible. A continuación, en la *tabla 17* se presenta la escala de preferencias comúnmente utilizada en la resolución de problemas con la herramienta AHP:

Tabla 17 Escala de preferencias

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Fuente: (Hurtado & Bruno, s.f.)

El resultado del módulo de jerarquización de proveedores se representa un vector $[m]$, el cual contiene el puntaje global obtenido por cada uno de los proveedores evaluados de acuerdo a los criterios establecidos previamente y la percepción que GDPLAST posee de ellos. Este resultado se tiene en cuenta para la ejecución del módulo de programación de la producción para la minimización de la tardanza promedio. En el numeral 4.2.2 se presenta el Pseudocódigo de la metodología Proceso analítico Jerárquico.

b. Supuestos para el módulo de jerarquización de los proveedores.

En primer lugar, el esquema de colaboración entre los proveedores y GDPLAST es centralizada, siendo GDPLAST la empresa que evalúa, jerarquiza y asigna la demanda y programa la producción a los otros proveedores, se asume por tanto que los proveedores están dispuestos a entregar información que haga posible un diagnóstico que le permita a GDPLAST jerarquizarlos con base a unos criterios. En segundo lugar, el modelo supone calificaciones objetivas con base a experiencias previas de GDPLAST con cada uno de los proveedores propuestos para el modelo.

c. Pseudocódigo AHP aplicado a la jerarquización de proveedores para el modelo de colaboración

```

Proceso AHP
Paso1. leer los datos iniciales del problema. Dentro de estos, se encuentran puntuaciones a los criterios y a cada una de las empresas con base a los subcriterios.
Paso2. de las empresas con base a los subcriterios propuestos.
Para n = 1 hasta 2
  Si n = 1 Entonces
    Cn = 3
  si no
    Cn = 1
  Fin Si
  para i = 1 hasta Cn
    para k = 1 hasta Si
      para m = 1 hasta número de empresas
        para n = 1 hasta número de empresas
          paso3. Hallar el valor absoluto de la diferencia entre la puntuación de la empresa m con la puntuación de la empresa n. pareja [i, k, m, n]
          paso4. Encontrar la diferencia máxima entre las puntuaciones de las empresas y tomar este valor como la diferencia que haría extremadamente preferible a una empresa m con una empresa n. valor_max_pareja [i, k]
        Fin Para
      Fin Para
      para m = 1 hasta número de empresas
        para n = 1 hasta número de empresas
          si valor_max_pareja[i,k] = 0 entonces
            valor_max_pareja[i,k] = 1
            Esta condición evita error en caso de que todas las puntuaciones de las empresas sean iguales
          Fin Si
          Fin Si
          paso5. Se divide la diferencia de las puntuaciones de las empresas entre la mayor diferencia de las puntuaciones de las empresas. Luego esta división se multiplica por 9
          b [i, k, m, n]
          paso6. Completar la matriz de comparaciones pareadas.
          Si b [i, k, m, n] = 0 entonces
            MP[i,k,m,n] = 1
          De lo contrario Si b[i,k,m,n] > 0 entonces
            MP[i,k,m,n] = b[i,k,m,n]
          De lo contrario Si b[i,k,m,n] < 0 entonces
            MP[i,k,m,n] = abs(1/b[i,k,m,n])
          fin si
        Fin Para
      Fin Para
    Fin Para
  paso7. realizar la matriz linealizada de la matriz de comparaciones pareadas.
  paso8. Obtener el EigenVector[m,k] para cada subcriterio
  Fin Para
  Si n = 1 Entonces
    paso9. guardar en la matriz sumatoria_subcriterios[m,i] la sumatoria de cada uno de los valores EigenVector[m,k] la cual serán los datos de entrada para el siguiente nivel.
  Fin Si
fin para
paso10. Ponderar el EigenVector [m,k] con el peso de cada uno de los criterios
Fin Proceso

```

Figura 5 Pseudocódigo Metodología AHP, Construcción de los autores

4.3 Diseño del módulo de programación de la producción para la minimización de la tardanza promedio en un ambiente “single machine” con m máquinas paralelas.

Antes de nada, es importante especificar las condiciones actuales en la producción de las empresas PYMES que están dentro del modelo de colaboración. La primera característica de las PYMES que fabrican accesorios de tubería en PVC, está relacionada con el número de moldes que posee cada una, debido a que, ninguna de estas tiene una cantidad de moldes similar al portafolio que ofrece a los clientes, por lo general cada empresa posee tan solo entre 9 a 13 moldes de un portafolio de 35 productos. Por otro lado, la segunda característica relacionada con los procesos de producción de la PYMES en cuestión, es el número limitado de máquinas inyectoras que posee cada una de las empresas, por lo general cada PYME dentro del modelo posee entre una a tres máquinas inyectoras.

Por lo que se refiere a la producción de los accesorios de PVC, son necesarias tres máquinas, la primera de ellas consiste en un molino, el cual tiene como función triturar la materia prima que llega a la empresa en forma de pellet, para luego ser llevada a la segunda máquina, la cual se encarga de mezclar el PVC con los aditivos. Por último, la materia prima, más aditivos, es recibida por una maquina inyectora, la cual se encarga de calentar el material para posteriormente introducir este en unos moldes especiales con la forma del accesorio y de esta manera tener el accesorio listo para pulir y empaquetar.

Para la realización del módulo de programación de la producción se tomaron en cuenta algunos supuestos con miras a encontrar una solución que se acomode a todas las empresas que se encuentran dentro del modelo de colaboración. En primer lugar, el módulo presume de el hecho que los accesorios solamente están fabricados con su materia prima básica, que en este caso es el PVC, y desconoce cualquier tipo de aditivo. Acorde con la anterior suposición, el tiempo de fabricar un accesorio consta únicamente del tiempo necesario para procesar el PVC. En segundo lugar, el módulo considera que, para la fabricación de la pieza en PVC únicamente es necesario de un solo tipo de máquina, específicamente de la inyectora, es posible hacer esta conjetura debido a que, según el diagnóstico realizado a cada una de las empresas productoras de los accesorios de PVC, (*ver anexo 5*), la maquina inyectora está presente el 95,42% del tiempo que se requiere para fabricar el producto. Dicho lo anterior, el problema se mueve dentro de un ambiente “single machine” con máquinas idénticas paralelas con diferentes velocidades.

Considerando que, cada una de las PYMES proveedoras de GDPLAST poseen diferentes modelos de máquinas inyectoras, el módulo de programación de la producción contempla una velocidad de procesamiento por empresa, la cual será el promedio de las velocidades de procesamiento de las máquinas de cada una de las PYMES. Por último, se estableció un tiempo de preparación de máquina (Setup) entre cada uno de los trabajos, este tiempo solamente se tendrá en cuenta cuando el producto relacionado con el trabajo próximo a fabricar es diferente al producto correspondiente al trabajo que actualmente se encuentra en proceso.

En relación con el tiempo de fabricación de los productos en cada una de las empresas del modelo, se midió el tiempo de inyección de un producto cuyo molde estuviese disponible en todas las empresas, con este, se determinó el tiempo de procesamiento de un gramo de materia prima. Igualmente, se obtuvo la masa promedio de cada uno de los accesorios de tubería sanitaria de PVC del portafolio, este valor se multiplico por la velocidad de procesamiento, para así obtener un estimado del tiempo de inyección de cada uno de los accesorios.

Por último, se asume que el modelo de programación de la producción se simulara una vez al día, a las 5 de la tarde, hora en la cual se realiza la orden de producción de todos los pedidos. Se considera además que, existe tardanza cuando el accesorio no logra fabricarse durante las primeras 24 horas inmediatamente después a la orden de producción del pedido.

a. Metodología utilizada para el diseño del módulo de programación de la producción: Metaheurística Tabú

La búsqueda tabú es uno de los métodos más utilizados en la optimización combinatoria (Mahdavi, Zaerpour, Zareei, & Hajinezhad, 2010). Es un procedimiento meta - nivel para guiar métodos de búsqueda locales a vencer la optimalidad local, este fue propuesto inicialmente por Glover (1986) (Gendreau & Potvin,2011). Este método funciona mediante la incorporación de funciones de memoria flexible para prohibir transiciones entre soluciones que reestablecen atributos de soluciones pasadas Los atributos que no se les permiten ser reincorporados se les llama tabú y se mantienen en una memoria de corto plazo (Laguna & Glover, 1993).

Para realizar la búsqueda tabú, es necesario encontrar una buena solución inicial. Se propone la asignación del lote completo de cada trabajo de manera aleatoria a las empresas, por medio de la generación de números aleatorios con la distribución uniforme. Luego, los trabajos son asignados a cada una de las maquinas siguiendo la política de programación de trabajos Non-Delay, la cual no permite tiempos ociosos no forzados teniendo en cuenta que, se envían los trabajos a la primera la máquina que estará disponible más pronto. Por último, se organizan los trabajos de cada máquina por la regla de despacho estática SPT, la cual prioriza los trabajos de acuerdo al tiempo de proceso de forma ascendente (Pinedo , 2008).

La solución de la regla de despacho SPT se guarda en dos arreglos, el primero, almacena la información de cada uno de los productos (trabajos), este contiene; la cantidad que se demanda, el NIT de la empresa en la cual se asignó trabajo, la fecha de entrega, el tiempo de fabricación, el tiempo inicial y final, la posición en la máquina y finalmente, la tardanza. El segundo arreglo, almacena la información de cada una de las empresas relacionada con; el tiempo en el cual se usó cada máquina, el número de máquinas, el número de trabajos dentro de cada máquina y el tiempo de elaboración de cada uno de los productos.

b. Pseudocódigo método de inicialización del Tabú

```

Proceso Non-Delay
paso1.leer los datos iniciales
para i = 0 hasta T - 1
    Si Empresa_productora[j] = false entonces
        si disponibilidad_molde[k] = true entonces
            paso2.asignar el trabajo a una empresa aleatoriamente.
            paso3.encontrar la máquina que estará disponible más pronto
            dentro de la empresa y asignarle el trabajo
            paso4.actualizar el tiempo de inicio, fin y la tardanza del trabajo.
            Paso5.actualizar la información de la empresa
        si no
            i = i - 1
        FinSi
    Si no
        Paso6.encontrar la máquina que estará disponible más pronto
        en la empresa productora
        Paso7.actualizar el tiempo de inicio, fin y la tardanza del trabajo.
        Paso8.actualizar la información de la empresa
        FinSi
    FinSi
    Paso9.calcular la tardanza promedio
FinProceso

```

Figura 6 Pseudocódigo Inicialización Tabú

```

Proceso SPT
Paso1. Crear una copia del resultado de la asignación
de productos por medio de la política Non-Delay. current
Paso2. tiempo de la maquina = 0
para i = 0 hasta Trabajos[j]
    para j = i + 1 hasta Trabajos[j]
        Paso3. Organizar los trabajos de forma ascendente de acuerdo al tiempo con el tiempo de procesamiento.
        Si tipo de producto[i] = tipo de producto[i-1] entonces
            tiempo de inicio[i] = tiempo final del producto[i-1]
        Si no
            tiempo de inicio[i] = tiempo_final_producto[i-1] + 2
        Fin Si
    FinPara
FinPara
FinProceso

```

Figura 7 Pseudocódigo SPT

Con relación al Tabú, se generan los vecindarios a partir de las soluciones provisionales obtenidas de las posibles combinaciones que generan los intercambios al azar de los trabajos. la función objetivo, Tardanza promedio, que en primera instancia se obtiene de la solución inicial, se guardará en la variable “best”. Por último, se construyó

la lista tabú [nxn], la cual se marcan los intercambios y se irá actualizando en cada iteración.

En vista de que las empresas que fabrican accesorios de tubería sanitaria de PVC no disponen de todos los moldes requeridos para la fabricación de los productos que conforman su portafolio, el módulo de programación de la producción no asigna productos a las empresas que no contaban con el respectivo molde. Así mismo, el módulo tiene en cuenta que las empresas proveedoras también reciben pedidos de sus clientes y por lo tanto necesitan programar dichos pedidos más los productos demandados por GDPLAST. Es importante aclarar que, para los pedidos que llegan a las empresas proveedoras, el modelo solamente tiene en cuenta los productos (trabajos) que son fabricados por ellas mismas. por lo tanto, si un proveedor decide tercerizar la producción de un producto de su pedido, el módulo no tendrá en cuenta ese producto para ser programado.

c. Pseudocódigo Búsqueda Tabú para la minimización de la tardanza promedio.

<p>Proceso TABÚ</p> <p>Paso1. Generar una solución inicial con la regla de despacho SPT.</p> <p>Paso2. Obtener el tamaño Tabú</p> $N = \frac{n * (n - 1)}{2}$ <p>Paso3. Obtener el tamaño de la lista tabú.</p> $L = \frac{n + m}{2}$ <p>mientras Iteraciones < N</p> <p>paso4. Generar dos números aleatorios con un comportamiento uniforme.</p> <p>Paso5. Guardar en una variable tipo booleana <i>cliente proveedor(i)</i> si el trabajo(i) proviene de un pedido recibido por algunos de los proveedores, estos trabajos serán intercambiados.</p> <p>Paso6. Examinar la disponibilidad de las empresas en cuanto a moldes, si alguna de las empresas no tiene disponibilidad para recibir el nuevo trabajo no se efectúa el intercambio.</p> <p>Paso7. Crear una copia del arreglo para no modificar el original.</p> <p>Paso8. realizar las permutaciones entre los trabajos y calcular la tardanza promedio.</p> <p>Paso9. elegir el mejor vecino no tabú.</p> <p>paso8. Si la tardanza del mejor vecino < la mejor función objetivo vigente entonces</p> <p>Paso10. confirmar el mejor cambio y actuar la secuencia actual.</p> <p>Paso11. la mejor función objetivo vigente = la tardanza del mejor vecino</p> <p>paso12. asignar al mejor vecino un valor en lista tabú igual a L.</p> <p>si no</p> <p>paso12. actualizar la lista tabú</p> <p>Fin Si</p> <p>iteraciones = iteraciones + 1</p> <p>Fin Mientras</p> <p>Fin Proceso</p>

Figura 8 Pseudocódigo metaheurística Tabú

Los vecindarios se generaron aleatoriamente mediante el uso de dos variables, la cuales siguieron una distribución uniforme con un intervalo entre 0 y n - 1, siendo n el número de trabajos actuales. Adicionalmente, se determinó el tamaño de la lista tabú considerando el número de máquinas (m) y de trabajos (n) y teniendo en cuenta el cálculo hecho por (Taillard, 1994), el cual considera un tamaño de la lista tabú igual a (m + n)/2. Por último, se consideró como criterio de parada un número de iteraciones igual a (n * (n - 1))/2 tomando como base y adaptando al modelo de colaboración el cálculo propuesto por (Eksioglu, Eksioglu, & Jain, 2008).

5. Componente de Diseño en ingeniería.

5.1. Declaración de diseño.

En el presente trabajo de grado se diseñó un modelo de colaboración entre PYMES productoras y distribuidoras de accesorios de tubería sanitaria de PVC para la empresa GDPLAST, el cual contiene dos módulos, el primero, consiste en una herramienta para jerarquizar a las empresas proveedoras contenidas en el modelo de acuerdo a unos criterios, los cuales consideran los gerentes de GDPLAST, son importantes para trabajar en conjunto con

sus proveedores. Los criterios considerados para la jerarquización de los proveedores fueron la confianza, la calidad y el servicio al cliente, a su vez, la metodología utilizada para el desarrollo del módulo fue el Proceso Analítico Jerárquico.

El segundo módulo que integra al modelo de colaboración, consiste en una herramienta para la programación y coordinación de la producción de GDPLAST y sus proveedores, para esto, se hizo uso de la metaheurística Tabú con el objetivo de disminuir la tardanza promedio y con ello reducir los costos de tardanza y aumentar las bonificaciones por entregas tempranas.

Simultáneamente, se diseñó un aplicativo en Excel, Visual Basic, para facilitar el uso de las herramientas que conforman el modelo de colaboración para GDPLAST, este programa cumple la función de guardar la información de los proveedores, productos y clientes, jerarquizar a los proveedores, coordinar la producción de las empresas dentro del modelo para el cumplimiento de las demandas de GDPLAST y entregar un reporte de los resultados.

5.2. Proceso de Diseño

El modelo de colaboración entre PYMES que fabrican y distribuyen accesorios de tubería sanitaria de PVC está constituido por dos módulos. En primer lugar, un módulo para la jerarquización de proveedores de acuerdo a unos criterios establecidos por la empresa GDPLAST. A priori al diseño de este módulo, se eligió unas empresas similares a GDPLAST en cuanto al número de empleados, máquinas y moldes que disponían para la producción de los accesorios. Luego, se realizó un diagnóstico de costos y de tiempos de producción para cada uno de los productos fabricados en las empresas elegidas. Finalmente, se desarrolló una herramienta para la jerarquización de los proveedores basada en la metodología Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

En segundo lugar, se desarrolló el módulo de programación de la producción para las empresas PYMES dentro del modelo, incluida GDPLAST. Este módulo tiene como objetivo disminuir la tardanza promedio en las entregas de los productos. Para crear esta herramienta, se hizo uso de la metaheurística Tabú, inicializada con la regla de despacho SPT. Conforme al software disponible por GDPLAST, se decide realizar el módulo de programación en el Excel, Visual Basic, donde también se simuló 100 escenarios o instancias aleatorias para comparar los resultados de la metaheurística con otras metodologías para resolver el problema de programación *single machine* con m máquinas paralelas. Adicionalmente, se utilizó una muestra de 28 días en los cuales existe al menos un pedido.

Nota: Las instancias o escenarios varían únicamente de acuerdo con la producción mensual de los proveedores, puesto que, esta posee un componente aleatorio. Los datos suministrados por GDPLAST no varían entre instancias, de igual manera que el número de moldes y el número de máquinas de cada una de las PYMES.

Por otra parte, el módulo de programación fue simulado en 100 instancias para una producción de accesorios correspondiente a tres meses. Para ello, se utilizaron dos ordenadores con un procesador Intel Core i5 con una velocidad de 2.5 GHz. En la *figura 9* se muestra gráficamente el proceso para la elaboración del modelo de colaboración para GDPLAST.

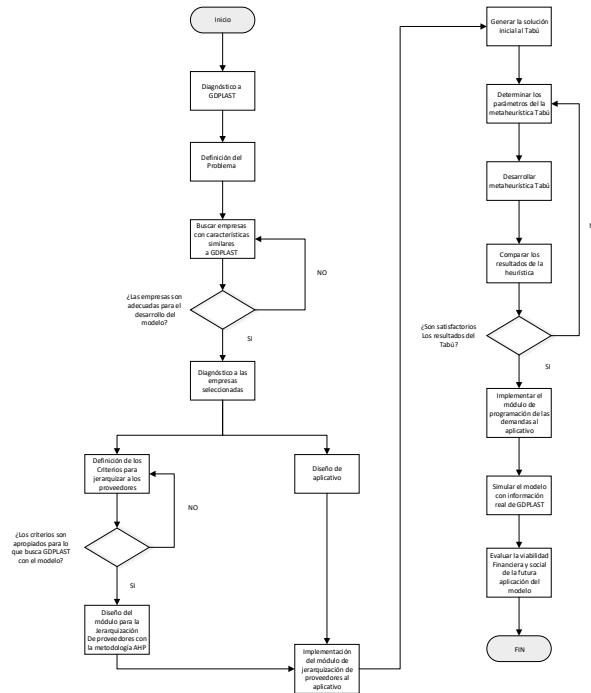


Figura 9 Diagrama de flujo del modelo de colaboración. Construcción de los autores

5.3. Requerimientos de desempeño

- a) Según (E'ecuyer, Simard, & Wegenkitl, 2002) la secuencia de números aleatorios debe ser cumplir con las siguientes dos propiedades.

Uniformidad: todos los numero generados aleatoriamente deben tener la misma probabilidad de ser escogidos.

Independencia, donde la probabilidad de elegir un valor no depende del valor previo observado.

- b) Para el desarrollo de la metodología AHP, las puntuaciones otorgadas por el gerente de GDPLAST a cada uno de los proveedores dentro del modelo deben cumplir con un grado de consistencia, con el propósito de aumentar la confianza en los resultados entregados por el módulo para la jerarquización de los proveedores. Si los datos entregados por GDPLAST no cumplen con el grado de consistencia, es necesario revisar los subcriterios relacionados con cada criterio y pedir a GDPLAST la evaluación de los proveedores de nuevo. (Hurtado & Bruno, s.f.).
- c) Los resultados del módulo para la programación de la producción deben se factibles, es decir, los proveedores no pueden recibir productos de los cuales no tengan el molde correspondiente y se deben respetar los tiempos de setup para todas las máquinas.
- d) El modelo debe ser funcional, de fácil uso por GDPLAST y que utilice software y hardware disponibles actualmente en GDPLAST y las PYMES escogidas para el modelo.
- e) El modelo servir como una herramienta para la selección de los proveedores para GDPLAST y la programación de su producción para todas las empresas dentro del modelo.

5.4. Pruebas de rendimiento

Prueba de rendimiento para el módulo de selección de proveedores

En cuanto al módulo de selección de proveedores, se elaboró la prueba del grado de consistencia de las puntuaciones suministradas por los gerentes de la empresa GDPLAST a cada una de las empresas que fueron escogidas para pertenecer al modelo de colaboración. Teniendo en cuenta que, una de las grandes ventajas de la metodología AHP es la posibilidad de determinar la congruencia de los puntajes entregados por el decisor y

verificar errores en los subcriterios que representan a cada uno de los criterios, un buen índice de consistencia permite confiar en los resultados que entregue una herramienta basada en la metodología Proceso Analítico Jerárquico. Con el propósito de encontrar el grado de consistencia Se tomó como base el cálculo de (Khatri & Srivastava, 2016). A continuación, se presenta las fórmulas para obtener el grado de consistencia:

$$CI = (\lambda \max - n)/(n - 1) \tag{2}$$

$$CR = CI/RI \tag{3}$$

Donde, λ_{max} es igual al Máximo valor del Eigen Vector y n es el número de subcriterios representativos del criterio. El valor del Índice de Consistencia aleatorio (RI) se obtiene de la siguiente tabla propuesta por (Khatri & Srivastava, 2016).

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	.58	.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Tabla 18 Valores del radio de consistencia

Pruebas de rendimiento para el módulo de programación de las demandas

En relación con el módulo de programación de las demandas, se compararon los resultados del método de búsqueda tabú en un ambiente “single machine” para m maquinas paralelas con la situación actual de GDPLAST y los resultados de la aplicación de las reglas de despacho CR y SPT para el mismo problema. Igualmente, se realizaron pruebas estadísticas que permiten corroborar si, estadísticamente, existe una mejora en el promedio de tardanzas diarias, utilizando una muestra de 28 días.

5.5 Restricciones

El diseño del modelo de colaboración entre PYMES productoras y distribuidoras de accesorios PVC se contempla las siguientes restricciones:

- a) En primer lugar, con relación al módulo para la jerarquización de proveedores, las empresas que se encuentren dentro del modelo deberán contar con características similares con respecto a la demanda y al número de moldes, máquinas y empleados.
- b) El modelo es centralizado, es decir, GDPLAST es la única empresa que maneja el aplicativo, jerarquizará los proveedores y programará la demanda de las PYMES dentro del modelo.
- c) Con respecto al módulo de programación de la producción, las demandas con las cuales trabaja el módulo son determinísticas.
- d) Cuando el módulo de programación de la producción asigna un trabajo a una empresa, la cantidad equivale al lote total.
- e) El módulo de programación no tendrá en cuenta la producción de los accesorios que sean tercerizados a una empresa fuera del modelo. Así mismo, el reporte diario entregado por las PYMES proveedoras estará únicamente relacionado con los productos para los cuales ellas tienen la capacidad de producir.
- f) El módulo de programación asume un tiempo de preparación de la máquina de 2 horas para cualquier cambio de trabajo que esté relacionado con un tipo de producto diferente,
- g) El módulo de programación desprecia el tiempo de transporte.
- h) El módulo de programación no asume un tiempo para el daño, ni el mantenimiento de una máquina.

5.6. Supuestos del modelo de colaboración

	Supuestos	Implicaciones	Formas de superarlos
1	GDPLAST realizar un contrato de colaboración empresarial tipo consorcio, establecido en la ley 80 de 1993, con las PYMES proveedoras que harán parte del modelo de colaboración.	Este contrato	No aplica

Módulo para la jerarquización de proveedores			
2	En cuanto al modelo de colaboración de las PYMES productoras de accesorios de PVC, se escogió 5 empresas con las cuales GDPLAST ha tenido más contacto desde su fundación (2016). Estas empresas fueron entregadas por el gerente de GDPLAST y accedieron a la entrega de información relacionada con costos y tiempos de fabricación.	Al no conocer todas las empresas que fabrican accesorios de PVC en Bogotá, no es posible evaluar el total de las PYMES del sector y se pierde la posibilidad de encontrar mejores opciones para el modelo de colaboración.	El módulo de para la jerarquización de proveedores con la herramienta Proceso Analítico jerárquico es capaz de evaluar una población grande de PYMES de acuerdo a ciertos criterios.
2	Los criterios que se tienen en cuenta para el módulo de jerarquización de empresas proveedoras de accesorios de PVC fueron escogidos de acuerdo a la entrevista a profundidad hecha a al Gerente de GDPLAST Harryson Delgado.	Escoger los criterios según la perspectiva de GDPLAST implica que la empresa solamente mencionara los criterios que conoce. Por lo tanto, el módulo no tiene en cuenta otros criterios que pueden ser útiles para tomar una mejor decisión con relación a la jerarquización de las empresas.	Estudio de antecedentes para definir los posibles criterios para evaluar los proveedores
Módulo para la programación de la producción de las empresas dentro del modelo			
3	El modelo supone que los accesorios están hechos solamente con PVC y el módulo desconoce cualquier tipo de aditivo.	El modelo no tiene en cuenta tiempos de procesamiento de los aditivos.	El modelo podría tomar en cuenta el procesamiento de los aditivos, con la suma de este tiempo al tiempo de procesamiento de cada uno de los accesorios a cada máquina.
4	El modelo supone que la única máquina que hace parte de la fabricación de los accesorios en PVC es la maquina inyectora.	Puede darse el caso en que el molino y la mezcladora afecte en gran manera el tiempo de fabricación de los accesorios de PVC si existe algún fallo en las maquinas	Realizar la programación de la producción en un ambiente flow shop hibrido.
5	El tiempo de setup entre los trabajos en cada una de las maquinas es de 2 horas.	El tiempo de setup puede ser más alto o más bajo dependiendo de la disponibilidad de los empleados.	Tomar muestras del tiempo de setup entre dos trabajos en cada una de las empresas que participan en el modelo de colaboración

6	El módulo para la programación de la producción supone que la demanda de las empresas proveedoras dentro del modelo se comporta similar a la demanda de GDPLAST	Las empresas proveedoras pueden presentar demandas fuera del comportamiento de la demanda de GDPLAST.	Encontrar el comportamiento de la demanda de cada una de las empresas proveedoras dentro del modelo
7	Para el módulo de programación de la producción se tiene en cuenta el portafolio de accesorios de tubería sanitaria.	El cliente puede pedir otro tipo de tubería	El modelo sirve para cualquier tipo de accesorio de PVC.

Tabla 19 Supuestos del modelo de colaboración

5.7. Cumplimiento del estándar

Estándar a Cumplir	Descripción	Cumplimiento
Proceso Analítico Jerárquico	las puntuaciones otorgadas por el gerente de GDPLAST a cada uno de los proveedores deben cumplir con un mínimo grado de consistencia.	Para verificar el grado de consistencia de los datos, se desarrollan los cálculos propuestos por (Khatri & Srivastava, 2016), donde se mide el grado de consistencia de las puntuaciones del decisor.
Números Aleatorios	Según (E'ecuyer, Simard, & Wegenkitll, 2002), la secuencia de números aleatorios debe cumplir dos condiciones: uniformidad e independencia.	Se probó la uniformidad de la secuencia aleatoria mediante la prueba de Chi-Cuadrado y la independencia mediante la prueba de autocorrelación propuesta por (Thursby & Schmidt, 1977).
Tabú	La metaheurística tabú debe cumplir con las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> a) Entregar respuestas factibles que satisfagan las necesidades de GDPLAST y las PYMES proveedoras. b) Entregar buenas soluciones para el módulo de programación de la producción. c) Considerar un numero de iteraciones y un tamaño de lista tabú adecuados para el problema Single Machine con máquinas Paralelas 	La metaheurística Tabú entrega soluciones factibles acorde a las restricciones expuestas en el numeral 5.5. Por otra parte, se comparó la solución del tabú con dos reglas de despacho (SPT, CR) en 100 escenarios aleatorios. Para el desarrollo del tabú, se consideró un numero de iteraciones y un tamaño de lista tabú conforme al número de trabajos y máquinas que en se encuentren dentro del módulo de programación de la producción.
Aplicativo	El aplicativo se debe adaptar a las capacidades de GDPLAST en relación al hardware y Software que actualmente dispone.	Se construyo un aplicativo en Excel 2016.

Tabla 20 Cumplimiento del estándar

6. Resultados

6.1. Generación de números aleatorios.

En cuanto al generador de números aleatorios, la secuencia entregada por este debe satisfacer dos propiedades estadísticas: uniformidad e independencia. A continuación, se evalúa la uniformidad de primeros 122 datos entregados por el método de congruencia lineal con los parámetros de iniciación propuestos por (Marsaglia & Zaman, 1993).

H_0 los datos generados aleatoriamente cumplen la propiedad de uniformidad
 H_1 los datos generados aleatoriamente no cumplen la propiedad de uniformidad

Números aleatorios	
Chi-cuadrado	,000 ^a
GI	121
Sig.	1,000
Asintótica	

Tabla 21 Prueba de Uniformidad numeros aleatorios

Se acepta la hipótesis Nula, por lo tanto, se puede afirmar con un nivel de significancia de 5% que los datos arrojados por el generador de números aleatorios cumplen con la propiedad de uniformidad.

En segundo lugar, la secuencia aleatoria debe satisfacer con la propiedad de independencia, para corroborar esta característica se aplicará una prueba de autocorrelación (Thursby & Schmidt, 1977) donde:

$H_0 : \rho_{im} = 0$;no existe correlación entre los datos de la secuencia aleatoria
 $H_0 : \rho_{im} = 1$;Existe correlación entre las variables

Nota: El procedimiento correspondiente cálculo de la prueba de autocorrelación se presenta en el *anexo 7*.

A continuación, en la *tabla 22* se presenta los resultados de la prueba de autocorrelación para una secuencia de 30 números aleatorios.

Prueba de Independencia	
$Z_{\alpha/2}$	1,65
Z_0	-0,5

Tabla 22 Prueba de Independencia Thursby & Schmidt, 1977

6.2. Comportamiento de la demanda de las PYMES proveedoras de GDPLAS

Acorde con el supuesto de homogeneidad entre las características de las PYMES que participan en el modelo de colaboración, se simuló la demanda de cada una de ellas a partir del análisis del comportamiento de los pedidos en la empresa GDPLAST para tres meses del año 2017. A continuación, desde la *tabla 23* hasta la *26*, se presenta los resultados de las pruebas realizadas a cada variable. La información suministrada por GDPLAST se encuentra en el *anexo 8*.

D_m , número de días en los cuales GDPLAST recibe al menos un pedido.

H_0 : la variable D_m se comporta como distribución uniforme
 H_1 : la variable D_m no se comporta como una distribución uniforme

Número de días en los cuales GDPLAST recibe pedidos	
Z de Kolmogórov-Smirnov	,889
Sig. asintótica (bilateral)	,408

Tabla 23 Número de días en los cuales GDPLAST recibe pedidos. Construcción de los autores

Se acepta la hipótesis Nula, por lo tanto, se puede afirmar con un nivel de significancia de 5%, que la variable D_m sigue una distribución uniforme.

N_j , Numero de productos que contiene cada pedido

$H0$: la variable N_j se comporta como distribución normal
 $H1$: la variable N_j no se comporta como una distribución normal

Numero de productos que contiene cada pedido	
N	32
Estadístico de prueba	,154
Sig. asintótica (bilateral)	,053 ^c

Tabla 24 Numero de productos que contiene cada pedido

Se acepta la hipótesis Nula, por lo tanto, se puede afirmar con un nivel de significancia de 5%, que la variable N_j sigue una distribución normal.

n_{ij} , Producto l solicitado para el pedido j

Se realizo el análisis de los datos arrojados por la variable n_{ij} , para ello, se dispuso del software Arena Master Development, el cual entrego los resultados mostrados en la tabla 21.

Prueba Chi-Cuadrado	
Distribución	Weibull
Square Error	0.010222
Number of intervals	8
Degrees of freedom	5
Test Statistic	7.89
Corresponding p-value	0.178

Tabla 25 Prueba Weibull para variable n_{ij} construcción por los autores.

El P-Value es igual a 0,178, por lo tanto, se puede afirmar con nivel de significancia de 5%, que la variable n_{ij} sigue una distribución Weibull

x_{ij} , Cantidad del producto l solicitado para le pedido j

La variable x_{ij} no se ajusto a ninguna distribución conocida a un nivel de significancia del 5%, debido a esto, para los fines del modelo, se elige la distribución con el menor error cuadrático según el software Arena Master Development, en la tabla 22 se muestra el error cuadrático de los datos entregados por GDPLAST comparados con ocho distribuciones

Distribución	Exponential	Gamma	Weibull	Beta	Lognormal	Normal	Triangular	Uniform
Sq Error	0.0219	0.0333	0.0523	0.0525	0.0848	0.166	0.184	0.234

Tabla 26 Error Cuadrático, construcción de los autores

Según la información anterior, la distribución que mejor se acomoda a la variable es la distribución exponencial.

6.3. Resultados de la prueba de rendimiento para el módulo de selección de proveedores

Por lo que se refiere al módulo de selección de proveedores, se verifico la robustez de las calificaciones entregadas por el gerente de GDPLAST, con el propósito de verificar la calidad de la decisión final. A

continuación, desde la *tabla 27* hasta la *tabla 29*, se presentan los resultados correspondientes al grado de consistencia de las calificaciones entregadas por GDPLAST a cada una de las empresas proveedoras.

Confianza					
Cumplimiento de la entrega (Tipo del Producto)		Cumplimiento de la entrega (Fecha de la entrega)		Cumplimiento de la entrega (Cantidad del Producto)	
λ_{max}	5,088	λ_{max}	5,017	λ_{max}	5,126
<i>CI</i>	0,022	<i>CI</i>	0,004	<i>CI</i>	0,032
<i>RI</i>	1,120	<i>RI</i>	1,120	<i>RI</i>	1,120
<i>CR</i>	0,020	<i>CR</i>	0,004	<i>CR</i>	0,028
α	0,1	α	0,1	α	0,1

Tabla 27 Grado de consistencia - Criterio Confianza

Calidad					
Grado de Pureza		Grado de Humedad		Cumplimiento especificación Producto	
λ_{max}	5,022	λ_{max}	5,08	λ_{max}	5,1
<i>CI</i>	0,006	<i>CI</i>	0,02	<i>CI</i>	0,013
<i>RI</i>	1,12	<i>RI</i>	1,12	<i>RI</i>	1,1
<i>CR</i>	0,005	<i>CR</i>	0,02	<i>CR</i>	0,012
α	0,1	α	0,1	α	0,1

Tabla 28 Grado de consistencia - Criterio Calidad

Servicio al Cliente					
Atención Post-Venta		% Llamadas atendidas		Capacidad de respuesta en la llamada	
λ_{max}	5,18	λ_{max}	5,063	λ_{max}	5,0405
<i>CI</i>	0,04	<i>CI</i>	0,016	<i>CI</i>	0,0101
<i>RI</i>	1,12	<i>RI</i>	1,12	<i>RI</i>	1,12
<i>CR</i>	0,04	<i>CR</i>	0,014	<i>CR</i>	0,0091
α	0,1	α	0,1	α	0,1

Tabla 29 Grado de consistencia - Criterio Servicio al Cliente

En cuanto a los resultados del grado de consistencia de las calificaciones entregadas por GDPLAST, se puede concluir con un nivel de significancia del 10%, que los juicios entregados por el gerente son consistentes, por lo tanto, se puede continuar con el proceso de decisión (Hurtado & Bruno, s.f.).

6.4 Resultados de la aplicación de la metodología AHP en el problema de jerarquización de proveedores.

Acorde con los resultados del grado consistencia, se procede jerarquizar a los proveedores de acuerdo con los tres criterios propuestos para el modelo. A continuación, en la *tabla 30*, se muestra el resultado obtenido del módulo encargado de la jerarquización de las PYMES proveedoras que se conforman el modelo de colaboración.

Puesto	1	2	3	4	5
Nombre empresa	P&C	Heraplast	Dplast SAS	Rafael Ovalle	Importaciones Sigor
NIT	900.710.331	1.421.462	900.707.527	900.338.899	900.713.035
Puntaje	0,27	0,179	0,175	0,07	0,06

Tabla 30 Resultado - Modelo para la Jerarquización de las PYMES proveedoras

Conviene subrayar que, los resultados obtenidos a partir del módulo para la jerarquización de las PYMES proveedoras serán tomados en cuenta para la programación de la producción de las empresas dentro del modelo. Para lograr esto, se le sumara un recargo al tiempo de proceso de cada una de las PYMES conforme al puesto y al puntaje conseguido. El recargo se calculará de la siguiente forma:

$$R = 10\text{seg} * \left(1 - \frac{\text{Puntaje}_0}{\text{Puntaje}_{\max}}\right)$$

Construcción de los autores

(3)

6.5. Desempeño del módulo de programación de la producción con el método de búsqueda Tabú.

Con respecto al módulo de programación, se comparó la mejora diaria promedio de la metaheurística Tabú frente a la situación actual, utilizando para ello 100 instancias aleatorias. Así mismo, se obtuvo el promedio de mejora diaria a través de la aplicación de regla de despacho estática SPT y la regla de despacho dinámica CR frente a la situación actual. Con el propósito de comparar los resultados de cada una de las metodologías, en la *tabla 31*, se realiza un cuadro comparativo donde se presenta la mejora promedio diaria de cada uno de los métodos mencionados.

Para obtener la mejora diaria de la tardanza promedio de cada una de las metodologías en cada instancia, se aplicó la siguiente fórmula mencionada por (Pliego, 2004) para el cálculo de la tasa de variación.

$$M_{iA} = 1 - \frac{TP_i}{T_A}$$

(4)

Donde,

M_{iA} es la mejora diaria del método i comparado con la situación actual
 TP_i corresponde a la tardanza promedio diaria utilizando el método i.
 T_A es la tardanza diaria con la situación actual de GDPLAST

		Mejora frente situación actual		
Dia del pedido		TABU / SPT	SPT	CR
sep-17	05/09/2017	88%	90%	87%
	07/09/2017	95%	95%	94%
	08/09/2017	95%	95%	95%
	11/09/2017	-2%	-1%	-5%
	14/09/2017	79%	75%	81%
	19/09/2017	43%	43%	61%

	20/09/2017	67%	63%	78%
	23/09/2017	79%	61%	47%
	25/09/2017	89%	80%	86%
	27/09/2017	-12%	-11%	-17%
	28/09/2017	74%	47%	69%
	30/09/2017	82%	84%	87%
	Promedio Septiembre	65%	60%	64%
oct-17	02/10/2017	92%	93%	91%
	07/10/2017	93%	87%	84%
	11/10/2017	83%	81%	85%
	12/10/2017	93%	89%	88%
	16/10/2017	88%	84%	90%
	18/10/2017	81%	75%	82%
	26/10/2017	93%	92%	87%
	28/10/2017	92%	91%	92%
	Promedio Octubre	89%	86%	87%
nov-17	01/11/2017	99%	97%	95%
	04/11/2017	66%	52%	-54%
	05/11/2017	93%	92%	90%
	17/11/2017	78%	82%	76%
	18/11/2017	96%	95%	95%
	22/11/2017	80%	81%	89%
	24/11/2017	82%	80%	88%
	Promedio Noviembre	85%	83%	68%
	Promedio mejora total	80%	76%	73%

Tabla 31 Situación actual vs Situación Real

Se observa que, haciendo uso de la metaheurística Tabú en un ambiente “single machine” con m maquinas paralelas, para 100 instancias aleatorias y una muestra (n) de 28 días, existe una mejora en tardanza promedio diaria del 80% frente a la situación actual de GDPLAST. Así mismo, se contempla que, para las 100 instancias mencionadas y una muestra de 28 días, los resultados de la metaheurística tabú para el ambiente “single machine” con m maquinas paralelas, mejoran a la situación actual 4 puntos porcentuales más que la regla de despacho estática SPT y 7 puntos porcentuales más que la regla de despacho dinámica CR.

A continuación, en la tabla 32, se muestran los resultados de las pruebas de normalidad para las variables promedio tardanzas diarias con la situación actual y promedio de tardanzas diarias utilizando el método de búsqueda Tabú.

H_0 : la variable se comporta como una distribución normal
 H_1 : la variable no se comportar como una distribución normal

	Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SITUACION_ACTUAL	,142	27	,175	,923	27	,052
TABU	,123	27	,200	,931	27	,075

Tabla 32 Prueba de Normalidad

Para muestras menores a 30 se tiene en cuenta la prueba no paramétrica de Shapiro-Wilk. Por lo tanto, se puede afirmar con un nivel de significancia del 5% que las variables *tardanzas diarias con la situación actual y promedio de tardanzas diarias utilizando el método de búsqueda Tabú* no siguen una distribución normal, por lo cual, el experimento no cumple los supuestos exigidos para para las pruebas paramétricas.

Las muestras son independientes teniendo en cuenta que, los resultados de un experimento no dependen del otro ejecutado previamente. Por lo tanto, para saber si la varianza promedio diaria cambia con la aplicación de la metaheurística tabú, se realiza la prueba U de Mann-Whitney contrastada con un nivel de significancia de 5%. En la *tabla 33* se muestran los resultados de la prueba para variables independientes.

H0: No hay diferencias entre las medianas de las variables
H1: Hay diferencias entre las medianas de las variables

SITUACION ACTUAL VS TABÚ	
U de Mann-Whitney	148,000
W de Wilcoxon	526,000
Z	-3,746
Sig. asintótica (bilateral)	,000

Tabla 33 Prueba U de Mann-Whitney

Acorde con la prueba no paramétrica para variables independientes U de Mann-Whitney, se rechaza la hipótesis nula y se concluye con un nivel de significancia del 5%, que el módulo para la programación de la producción con el método de búsqueda tabú mejora la tardanza promedio diaria de la producción de accesorios de tubería sanitaria de GDPLAST.

6.6 Análisis financiero y social de la implementación del modelo de colaboración entre PYMES productoras de accesorios se tubería sanitaria de PVC.

Con relación al impacto financiero de la posible implementación del modelo de colaboración entre la empresa GDPLAST y las PYMES proveedoras, se determinó el costo de una hora de tardanza a partir de la información suministrada por el gerente de GDPLAST. Según esta información, este costo se divide en tres componentes. El primero, corresponde al costo de oportunidad relacionado con la prima por entrega temprana, la cual en caso de tardanza del pedido es igual a cero. El segundo componente corresponde al costo de transporte por envió tardío, que asume GDPLAST cuando debe enviar el producto después de la hora de entrega total del pedido, la cual deberá hacerse antes de las primeras 24 horas posteriores a la orden de pedido. Por último, GDPLAST asume una penalización que varía de acuerdo a la hora de entrega del producto con tardanza y corresponde al cinco por ciento sobre el valor de la venta del producto. A continuación, se obtuvo la fórmula de costos la cual se construyó con base a la situación actual, descrita por el gerente de GDPLAST.

$$\text{Costo tardanza por pedido} = -500 + 1500 + \left(\sum 0,1 * v_i * n_i * ht_i \right) \tag{4}$$

Donde,

v_i corresponde al Precio del producto.

n_i es la cantidad de producto demandado.
 ht_i horas de tardanza.

A continuación, en la *tabla 34*, se presenta la comparación entre el costo actual por tardanzas, correspondiente al mes de septiembre y el costo total por tardanzas para el mismo mes, aplicando el módulo para la programación de la producción con el método de búsqueda tabú.

		Resultados Tabú										
	situación actual	muestra 1	muestra 2	muestra 3	muestra 4	muestra 5	muestra 6	muestra 7	muestra 8	muestra 9	muestra 10	
P1	\$ 37.218,58	\$ 25.091,28	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 26.396,75	-\$ 500,00	\$ 28.093,28	\$ 28.011,28
P2	\$ 48.608,09	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 25.463,95	\$ 25.894,17	-\$ 500,00
P3	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 25.498,71	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00
P4	\$ 31.545,40	-\$ 500,00	\$ 25.767,53	\$ 25.767,53	-\$ 500,00	\$ 25.196,09	-\$ 500,00	\$ 25.707,69	-\$ 500,00	\$ 26.868,11	\$ 25.765,12	
P5	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00
P6	\$ -	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00
P7	\$ 27.012,15	\$ 30.955,67	\$ 25.904,85	\$ 25.904,85	\$ 26.581,95	-\$ 500,00	\$ 26.772,95	-\$ 500,00	\$ 26.834,42	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00
P8	\$ 31.027,06	\$ 46.227,57	\$ 29.639,88	\$ 29.639,88	\$ 26.339,10	\$ 26.154,73	\$ 26.549,74	\$ 25.299,80	\$ 28.612,31	-\$ 500,00	\$ 27.571,09	
P9	\$ 27.416,43	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00
P10	\$ 42.684,05	-\$ 500,00	\$ 26.553,20	\$ 26.553,20	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 101.203,51
P11	\$ 40.465,28	\$ 25.612,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 30.688,62	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 28.659,95
P12	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 37.594,34	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00
P13	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	\$ 28.269,77	-\$ 500,00
P14	\$ 25.688,28	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00	-\$ 500,00
P15	\$ 27.615,86	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 25.697,65	\$ 500,00	\$ 28.249,15	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 500,00
TOTAL	\$ 337.281,17	\$ 123.386,52	\$ 103.365,46	\$ 103.365,46	\$ 103.807,31	\$ 83.945,15	\$ 101.570,55	\$ 72.404,24	\$ 75.910,67	\$ 104.625,33	\$ 207.210,94	
Porcentaje de mejora		63,42%	69,35%	69,35%	69,22%	75,11%	69,89%	78,53%	77,49%	68,98%	38,56%	

*Tabla 34 Tabla comparativa resultados financieros *P corresponde a los pedidos*

Nota: El modelo supone que una vez se haya finalizado el accesorio con tardanza, será enviado al cliente.

Según la tabla anterior, es posible observar que los costos correspondientes a los resultados del módulo para la programación de la producción en 10 instancias aleatorias, son un 77,99% más bajos, con respecto a la situación actual de GDPLAST para el mes de septiembre.

Por último, con respecto al impacto social de la aplicación del modelo de colaboración en las empresas PYMES, y con base a la información suministrada por el gerente de GDPLAST en la entrevista a profundidad, anexo 6, se identifica una problemática existente entre las empresas productoras de accesorios de PVC, la cual consiste en la falta de colaboración, comunicación y confianza entre ellas para atender la demanda, esta situación se presenta debido a la falta de mecanismos que les permitan organizarse para establecer procesos de colaboración formales que generen confianza y crecimiento en el sector. Con la aplicación del modelo de colaboración entre GDPLAST y las empresas PYMES colaboradoras, se da la oportunidad para que las empresas del sector productor de accesorios de PVC cuenten con un mecanismo de colaboración, que permita desarrollar comunicación y confianza entre ellas.

6.7 Aplicativo.

El aplicativo diseñado para la empresa GPLAST se encuentra en el *anexo 10* y el manual de usuario correspondiente al mismo, se encuentra en el *anexo 11*.

7. Conclusiones

Se diseñó un modelo de colaboración entre PYMES productoras de accesorios de tubería sanitaria de PVC, el cual consiste en dos módulos. El primero, es una herramienta para jerarquizar las empresas proveedoras. En segundo lugar, se diseñó el módulo de programación de la producción para todas las empresas incluidas en el modelo. El modelo fue diseñado para el uso exclusivo de GDPLAST y tiene características acordes con los productos y las condiciones con las cuales son fabricados actualmente.

En cuanto al módulo de jerarquización de los proveedores, este tiene unos buenos resultados cuando las empresas a evaluar tienen características similares en cuanto a su capacidad de producción y mercado al que atienden. Así mismo, la robustez de la decisión depende en gran medida del grado de consistencia de las decisiones del gerente de GDPLAST.

Sobre el módulo de programación de la producción se concluye que, existe una mejora en el promedio de tardanza diaria, entre la situación actual de GDPLAST y el modelo de programación propuesto con el uso de la

metaheurística tabú inicializada con la regla de despacho SPT. En cuanto al impacto en costos de la aplicación se tomó una muestra de 10 instancias en las cuales se utilizó la metodología tabú y se obtuvo una mejora significativa respecto a la situación actual.

Se le entrega a GDPLAST un aplicativo funcional, que le permita establecer sistemas de colaboración con PYMES productoras de accesorios de PVC y le sirva para escoger a sus aliados y coordinar su demanda.

8. Glosario

Análisis Envolvente de Datos (DEA): Modelo para comparar la eficiencia técnica real de una unidad de decisión con respecto a un óptimo. Este parte de un conjunto de observaciones evaluando su ineficiencia cuando es aproximada a una frontera eficiente. DEA puede trabajar mediante aproximaciones paramétricas y no paramétricas, según la necesidad del investigador (Morán, Rubiera, & Vicente, 2003).

Proceso de Análisis Jerárquico (AHP): Es un modelo que permite construir un modelo Jerárquico que represente el problema del objeto de estudio, mediante criterios y alternativas planteadas desde el inicio del problema, para luego deducir cuales son las mejores alternativas y tomar una decisión. AHP divide una decisión compleja en decisiones simples, facilitando la comprensión del problema propuesto. (Arquero, Álvarez, & Martínez, 2006).

Análisis de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDA): “es un término amplio que incluye una colección de conceptos, métodos y técnicas que persiguen ayudar a los individuos o grupos a tomar decisiones que implican diferentes puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados” (Belton & Stewart, 2002, pág. 13).

Proceso Analítico de Red (ANP): Método que representa el problema de decisión como una red formada por criterios y alternativas, formando grupos. ANP busca encontrar una supermatriz de criterios y compararla con la supermatriz de criterios óptima. (Sampedro, Núñez, Puchol, & Aragonés, 2011).

DMAIC: es la metodología de mejora de procesos usado por Seis Sigma, y es un método iterativo que sigue un formato estructurado y disciplinado basado en el planteamiento de una hipótesis, la realización de

9. Tabla de Anexos o Apéndices

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de Archivo	Enlace corto	Relevancia para el documento (1-5)
1	Ventas de GDPLASR	GDPLAST	Excel	https://drive.google.com/open?id=1Q3CWmq6sgrVnKgE2SgTW_Vx15BhWhnYK	5
2	Canjes de Accesorios entre PYMES	GDPLAST	Excel	https://drive.google.com/open?id=1wPWDulv9jmYR25LIFVTD-	5

				GvYb8L0 5SaF	
3	Costos compras accesorios otras PYMES	GDPLAST	Excel	https://drive.google.com/open?id=13Yc-Kv5hyes9piQXTB3xL3DtwxXRPXKM	3
4	Formato diagnostico PYMES	GDPLAST	PDF	https://drive.google.com/open?id=1rTZKw_4-6byxJZrL4z5leeylygE4cb0-	5
5	Diagnósticos PYMES del modelo	Propio	PDF	https://drive.google.com/open?id=1ccWZucFLiyIfvP4AAkrED4n0lZ3xsWXZ	5
6	Entrevista a profundidad gerente de GDPLAST	Propios	PDF	https://drive.google.com/open?id=1GF4dDv-voENQvC15Ipb-v-3Smz6gjqsi	5
7	Procedimiento para demostrar independencia	Propio	PDF	https://drive.google.com/open?id=1sOQQB_QE_ViGmjZUq5T_8choEQ_poHkY	3
8	Demandas Tardanzas GDPLAST septiembre octubre y noviembre	GDPLAST	EXCEL	https://drive.google.com/open?id=1HR6QNt5a4lSZvVGSsvpDn1SFPV1uS1m6	5
9	Calificación empresas Proveedoras	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=1P78wJydwWP77V-0wC0KzvvMsUQX0r1Gv	4
10	Aplicativo	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=15CpDZH8knQgKe8PyoN9tuESHuUC1BJbg	5
11	Guía de usuario Aplicativo	Propio	PDF	https://drive.google.com/open?id=1Dv7UWG_UxybCa06Sf_yc5CJvPTz0VopL	4

12	Listado de PYMES productoras de accesorios de PVC	Propio	Excel	https://drive.google.com/open?id=102c9N1pLM1Sxz1mDcny_OIc0SXzoiEz	5
----	---	--------	-------	---	---

Referencias

- Ahmadi, H. B., Hashemi Petrudí, S. H., & Wang, X. (2016). Integrating sustainability into supplier selection with analytical hierarchy process and improved grey relational analysis: a case of telecom industry. *Int J Adv Manuf Technol*
- Álvarez, M. (2009). *Manual de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa*. San Salvador : Deutsche Gasellschaft.
- Arquero, A., Alvarez, M., & Martinez, E. (2006). Empleo del AHP (Proceso Analítico Jerárquico) incorporado en SIG para definir el emplazamiento óptimo de equipamientos universitarios. Aplicación a una biblioteca. *Facultad de Informática*, 579-595.
- Bancoldex.com. (2017). [online] Available at: <https://www.bancoldex.com/Sobremicroempresas/Clasificacion-de-empresas-en-Colombia315.aspx> [Accessed 26 Mar. 2017].
- Badri Ahmadi, H., Wang, X., & Hashemi Petrudí, S. H. (2016). Integrating sustainability into supplier selection with analytical hierarchy process and improved grey relational analysis: a case of telecom industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-15. doi:10.1007/s00170-016-9518-z
- Benchmark. (2017). Benchmark. [online] Available at: https://bck-emis-com.ezproxy.javeriana.edu.co/mainview/resumenempresa?sv=BCK&pc=CO§or_id=9999052&company_id=60992&info#/mainview/sectorindicadors?sector_id=9999052&id_macrosector=1&grupo_id=1&a gg=SUM&pc=CO&sv=BCK [Accessed 2 Apr. 2017].
- Beikhhakhian, Y., Javanmardi, M., Karbasian, M., & Khayambashi, B. (2015). The application of ISM model in evaluating agile suppliers selection criteria and ranking suppliers using fuzzy TOPSIS-AHP methods. *Expert Systems With Applications*, 42, 6224-6236. doi:10.1016/j.eswa.2015.02.03
- Belton, V., & Stewart, T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers Group.
- Bohner, C., & Minner, S. (2017). Supplier selection under failure risk, quantity and business volume discounts. *Computers & Industrial Engineering*, 104, 145-155. doi:10.1016/j.cie.2016.11.028
- Cámara de Comercio de Medellín. (2017). Noticias Cluster Textil, Confección, Diseño y Moda. [online] Available at: <http://www.camaramedellin.com.co/site/Cluster-y-Competitividad/Comunidad-Cluster/Cluster-Textil-Confeccion-Diseno-y-Moda/Noticias-Cluster-Textil-Confeccion-Diseno-y-Moda.aspx> [Accessed 26 Mar. 2017].
- Camargo, G. (2017). Tejido empresarial, un proyecto de unión y desarrollo - La Nación. [online] La Nación. Available at: <http://www.lanacion.com.co/index.php/actualidad-lanacion/item/251516-tejido-empresarial-un-proyecto-de-union-y-desarrollo> [Accessed 26 Mar. 2017].
- Chan, F. T. S., & Chan, H. K. (2004). Development of the supplier selection model - A case study in the advanced technology industry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(12), 1807-1824.
- Che, Z. H. (2017). A multi-objective optimization algorithm for solving the supplier selection problem with assembly sequence planning and assembly line balancing. *Computers & Industrial Engineering*, 105, 247-259. doi:10.1016/j.cie.2016.12.03
- Chitnis, A., & Vaidya, O. S. (2016). Efficiency ranking method using DEA and TOPSIS (ERM- DT): case of an Indian bank. *Benchmarking*, 23(1), 165-182. doi:10.1108/BIJ-09-2013-0093
- Dinero. (2004). *Pavco y Gerfor recargan baterías*. [online] Dinero.com. Available at: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/pavco-gerfor-recargan-baterias/24132> [Accessed 2 Apr. 2017].
- Dinero. (2013). ¿Por qué el divorcio de Los Coches y Chevrolet? [online] Available at: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/por-que-divorcio-los-coches-chevrolet/170476>

[Accessed 26 Mar. 2017].

- Dinero. (2007). La 'moñona' de Mexichem . [online] Available at: <http://www.dinero.com/Imprimir/45084> [Accessed 2 Apr. 2017].
- Enrique, Franklin. (2014). Organización de Empresas. Mc Graw Hill 79 – 86.
- Farahani, R. Z., & Asgari, N. (2007). Combination of MCDM and covering techniques in a hierarchical model for facility location: A case Study. *European Journal of Operational Research*, 1839–1858.
- Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2011). *Handbook of Metaheuristics* (Vol. 157). <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-1900-6>
- Hu, H. Y., Chiu, S. I., Yen, T. M., & Cheng, C. C. (2015). Assessment of supplier quality performance of computer manufacturing industry by using ANP and DEMATEL. *TQM Journal*, 27(1), 122-134. doi:10.1108/TQM-11-2012-0091
- Kant, R., & Dalvi, M. V. (2017). Development of questionnaire to assess the supplier evaluation criteria and supplier selection benefits. *Benchmarking: An International Journal*, 24(2), 359-383. doi:10.1108/BIJ-12-2015-0124
- Khatri, J., & Srivastava, M. (2016). Technology selection for sustainable supply chains. *International Journal of Technology Management & Sustainable Development*, 15(3), 275-289. doi:10.1386/tmsd.15.3.275_1
- Lehmer, D.(1951). Mathematical methods in large-scale computing units, *Math. Rev.*, 13(1):495, 1952.
- Liu, X., Chu, J., Yin, P., & Sun, J. (2015). DEA cross-efficiency evaluation considering undesirable output and ranking priority: a case study of eco-efficiency analysis of coal-fired. *Journal of Cleaner Production*, 877-885.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L. (2004). Six sigma black belt handbook. McGraw-Hill
- Marcin, H. (2016). Cluster Development Strategy In The Context of the "Key National Cluster" Competition. *Scientiarum Polonorum*, 75-82.
- Mahdiloo, M., Saen, R. F., & Lee, K.-H. (2015). Technical, environmental and eco-efficiency measurement for supplier selection: An extension and application of data envelopment analysis. *International Journal of Production Economics*, 168, 279-289. doi:10.1016/j.ijpe.2015.07.010
- Mohammaditabar, D., Ghodssypour, S. H., & Hafezalkotob, A. (2016). A game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs. *International Journal of Production Economics*, 181, Part A, 87-97. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.016>
- Morán, P., Rubiera, F., & Vicente, M. (2003). Análisis Envolvente de Datos: Una Aplicación al Sector de los Servicios Avanzados a Las Empresas del Principado de Asturias. *Uniovi*, 1- 9.
- Rao, C., Xiao, X., Goh, M., Zheng, J., & Wen, J. (2017). Compound mechanism design of supplier selection based on multi-attribute auction and risk management of supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 105, 63-75. doi:10.1016/j.cie.2016.12.042
- Sampedro, A., Nuñez, V., Puchol, I., & Aragonés, P. (2011). *Aplicación del Modelo Analítico en Red ANP para la Selección de un Project Manager*. Huesca: Departamento de Proyectos de Ingeniería.
- Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.
- Shi, P., Yan, B., Shi, S., & Ke, C. (2014). A decision support system to select suppliers for a sustainable supply chain based on a systematic DEA approach. *Inf Technol Manag*, 39–49.
- Smith, J. S. (2003). Survey on the Use of Simulation for Manufacturing System Design and Operation. *Journal of Manufacturing Systems*, 157-172.
- Yıldız, A., & Yayla, A. Y. (2015). MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS FOR SUPPLIER SELECTION: A LITERATURE REVIEW. *South African Journal of Industrial Engineering*, 26(2), 158-177.
- Llisterri, J.J. y P. Angelelli. 2002. Guía operativa para programas de competitividad para la pequeña y mediana empresa (en línea). Serie de Buenas Prácticas del Departamento de Desarrollo Sostenible MSM-117, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=635770>; consulta: marzo de 2010.
- Berry, W., & Rao, V. (1975). *Critical Ratio Sheduling: An Experimental Analisis*. New york: Management Science.
- Bradi, A., Hashemi , P., & Wang , X. (2017). *Integrating sustainability into supplier selection with*

- analytical hierarchy process and improved grey relational analysis: a case of telecom industry*. London: International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
- Bryson, N., & Mobolurin, A. (1994). *An approach to using The analytic Hierarchy for solving multiple criteria decision making problems*. European Journal of.
- Chica, C. A. (2013). *Modelo matemático multicriterio para coadyuvar a la toma de decisiones en la selección de alternativas en Pymes*. Medellín: Estrategias.
- E'ecuyer, P., Simard, R., & Wegenkitll, S. (2002). Sparse Serial Tetes of Uniformity for Random Number Generators. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 652-668.
- Eksiog̃lu , B., Eksiog̃lu a, S., & Jain , P. (2008). A tabu search algorithm for the flowshop scheduling problem with changing neighborhoods. *Computers & Industrial Engineering* , 1 - 11.
- Fernández , I., González , P., & Puente , J. (1996). *Diseño y Medición de Trabajos*. Oviedo: Universidad de Oviedo.
- Fetz , T., & Oberguggenberger, M. (2016). *Imprecise random variables, random sets, and Monte Carlo simulation*. International Journal of Approximate Reasoning.
- Fishman, G., & Moore, L. (1986). *An exhaustive analysis of multiplicative congruential random number generators with modulus $2^{31} - 1$* . SIAM J. Sci. Stat. Comput.
- Hurtado, T., & Bruno, G. (s.f.). *El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores*. Tesis Digitales UNMSM.
- Islam, A., & Eksioglu, M. (1997). *a Tabu Search Approach for the Single Machine Mean Tardiness Problem*. Wichita State University: Journal of the Operacional Research Society .
- Jiménez , W. (2010). *Contabilidad de Costos*. Bogotá : Fundación para la educación superior San Mateo.
- Laguna , M., & Glover, F. (1993). *Brandwith Packing: A Tabu Search Approach*. Colorado: Management Science.
- López , G., Maldonado , G., Pinzón , S., & García , R. (2015). Collaboration and innovation activities in SMEs. *Contaduría y Administración*, 568-581.
- Mahdavi, M., Zaerpour, F., Zareei, A., & Hajinezhad, A. (2010). *Parallel machines scheduling to minimize job tardiness and machine deteriorating cost with deteriorating jobs*. Iran: Applied Mathematical Modelling .
- Marsaglia, G., & Zaman, A. (1993). *Monkey Tests for Random Number Generators* . Tellahase: Computers Math. Applic. .
- OIT. Organización Internacional del Trabajo. (1998). *Introducción al Estudio del Trabajo*. (G. Kanawaty, Ed.) Ginebra.
- Organización Mundial de Estandares . (2004). *ISO*.
- Osorio, J., & Orejuela, J. (2008). *El Proceso de Análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones Multicriterio. Ejemplo de Aplicación*. Pereira: Scientio et Technica.
- Paparoidamis, N., Katsikeas, C., & Cumpitaz, R. (2017). The role of supplier performance in building customer trust and loyalty: A cross-country examination. *Industrial Marketing Management*, 1-15.
- Pinedo , M. (2008). *Sheduling Theory, Algoritms, and Systems*. New York : Springer.
- Pliogo, M. (2004). *Introducción a la Estadística Económica y Empresarial. Teoría y Páctica*. Madrid: Ed. Thomson.
- R.L.Kleinberg, S.Paltsev, Ebinger, C., D.A.Hobbs, & T.Boersma. (2017). *Tight Oil Market Dynamics: Benchmarks, Breakeven Points, and Inelasticities*. Washington, DC: Eneeco .
- Salmerón , A., & Morales, M. (2001). *Estadística Computacional*. Almería.
- SCOR®. (2018). *SCOR*. Francia: Supply Chain Council Inc.
- Taillard, É. D. (1994). *Parallel Taboo Search Techniques for the job Shop Scheduling Problem*. Lausanne: ORSA Journal on computing .
- Thursby, J., & Schmidt, P. (1977). Some properties of tests for specification error in a linear regression model. *Journal of the American Statistical Association*, 635-641.
- Vattulainen, I., Kankaala , K., Saarinen, J., & Ala-Nissila, T. (1995). *A comparative study of some pseudorandom number generators*. Tampere: Comp. Phys. Comm.