

Romero Rojas, Julián David; Ortiz Triana, Viviana Karolina; Caicedo Rolón, Álvaro Junior

## Article

La teoría de restricciones y la optimización como herramientas gerenciales para la programación de la producción: Una aplicación en la industria de muebles

Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa

## Provided in Cooperation with:

Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

*Suggested Citation:* Romero Rojas, Julián David; Ortiz Triana, Viviana Karolina; Caicedo Rolón, Álvaro Junior (2019) : La teoría de restricciones y la optimización como herramientas gerenciales para la programación de la producción: Una aplicación en la industria de muebles, Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa, ISSN 1886-516X, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Vol. 27, pp. 74-90, <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.2964>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/286155>

### Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

### Terms of use:

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## La Teoría de Restricciones y la Optimización como Herramientas Gerenciales para la Programación de la Producción. Una Aplicación en la Industria de Muebles

ROMERO-ROJAS, JULIÁN DAVID

Grupo de Investigación en Productividad y Competitividad  
Universidad Francisco de Paula, Santander (Colombia)  
Correo electrónico: jdr3193@hotmail.com

ORTIZ-TRIANA, VIVIANA KAROLINA

Grupo de Investigación en Productividad y Competitividad  
Universidad Francisco de Paula, Santander (Colombia)  
Correo electrónico: vivianakarolinaot@ufps.edu.co

CAICEDO-ROLÓN, ÁLVARO JUNIOR

Grupo de Investigación en Productividad y Competitividad  
Universidad Francisco de Paula Santander (Colombia)  
Correo electrónico: alvarojuniorcr@ufps.edu.co

### RESUMEN

La teoría de restricciones (TOC) es una filosofía de mejoramiento continuo, que se enfoca en el eslabón más débil de la cadena, para mejorar el desempeño del sistema productivo. El propósito de la investigación fue determinar la cantidades a fabricar de cada producto y su secuencia de producción en una industria mediana de muebles para cocinas y baños, a partir de los enfoques de la contabilidad del *throughput* de la TOC, y alternativamente la optimización, como la programación lineal. Se identificó como restricción (cuello de botella) del proceso productivo la etapa de mecanizado con una utilización del 193.71%, la cual se prevé mejore con la aplicación de la metodología de la TOC, incrementando las utilidades un 87.62 %. La contabilidad del *throughput* es una heurística apropiada, fácil de entender por parte de los gestores de la producción, y útil para soportar la toma de decisiones, aunque no siempre garantiza una solución óptima al problema de mezcla de producción. El procedimiento de mejora continua desarrollado en esta investigación se puede replicar en otras fábricas de muebles con las mismas características de operación de la empresa en estudio.

**Palabras claves:** contabilidad del *throughput*, gestión de la producción, mezcla óptima de producción, producción sincronizada, programación lineal.

**Clasificación JEL:** C61; M11; M41.

**MSC2010:** 90B50; 90B35; 70H45; 90C05.

Artículo recibido el 5 de febrero de 2018 y aceptado el 3 de junio de 2018.

# Theory of Constraints and Optimization as Management Tools for Production Scheduling. An Application in Furniture Industry

## ABSTRACT

The theory of restrictions (TOC) is a philosophy of continuous improvement, which focuses on the weakest link in the chain, to improve the performance of the production system. The purpose of the research was to determine the quantities to be made of each product and its production sequence in a medium furniture industry for kitchens and bathrooms, based on the accounting approaches of the TOC throughput, and alternatively optimization, such as linear programming. The machining stage was identified as a restriction (bottleneck) of the production process with a utilization of 193.71%, which is expected to improve with the application of the TOC methodology, increasing profits by 87.62%. Throughput accounting is a suitable heuristic, easy to understand by production managers, and useful to support decision making, although it does not always guarantee an optimal solution to production mix problem. The continuous improvement procedure developed in this research can be replicated in other furniture factories with the same operating features of the company under study.

**Keywords:** throughput accounting, production management, optimal production blend, synchronized production, linear programming.

**JEL classification:** C61; M11; M41.

**MSC2010:** 90B50; 90B35; 70H45; 90C05.



## 1. Introducción

La teoría de restricciones (TOC) es una filosofía gerencial que se enfoca en el eslabón más débil de la cadena, para mejorar el desempeño de los sistemas productivos o de servicios (Şimşit, Günay & Vayvay, 2014). TOC analiza la organización como un sistema, como un conjunto de elementos interrelacionados, cuyo desempeño global está en función de los esfuerzos conjuntos de sus elementos. Un concepto importante es reconocer el papel fundamental que juega la restricción del sistema, el eslabón más débil del proceso (Corbett, 2001). TOC se enfoca en gestionar las restricciones que limitan el avance de la organización hacia su meta; ganar dinero hoy y en el futuro (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2008).

Desde que fue presentado por Eliyahu Goldratt a principios de 1980, TOC ha encontrado la aceptación como una filosofía de gestión y ha atraído la atención de los practicantes y los investigadores académicos (Şimşit et al., 2014). También se conoce como una filosofía de mejora continua; las organizaciones de diferentes sectores y tamaños que han implementado esta forma de pensar, han obtenido resultados destacados (Davies & Mabin, 2011; Şimşit et al., 2014). Hoy en día TOC puede ser integrada con el sistema de contabilidad de costos (Şimşit et al., 2014).

La contabilidad del *throughput* (*Throughput Accounting, TA*) es un sistema de contabilidad gerencial que utiliza el impacto sobre sus tres medidores (*throughput*, inversiones y gastos de operación), para la toma de decisiones y la mejora del desempeño de un negocio (Goldratt & Cox, 2008; Corbett, 2001). Tanto en la teoría como en la práctica, las decisiones de mezcla de productos han sido un área de aplicación principal de TA (Souren, Ahn & Schmitz, 2005). Este enfoque contable no es inadecuado en la decisión de mezcla de productos, sin embargo, es comprensible que se necesite un análisis más detallado para esta decisión (Hilmola & Li, 2016).

La mezcla óptima de producción es un tipo de problema de planificación para un solo período, cuya solución determina las cantidades óptimas de fabricación de un conjunto de bienes o servicios, sujetos a restricciones de capacidad y demanda del mercado (Krajewski et al., 2008). Pinedo (2010) menciona que una secuencia usualmente corresponde a una permutación de  $n$  trabajos los cuales tienen que ser procesados en una máquina dada. Para Méndez (2011) por lo general estos trabajos se colocan en diagramas Gantt.

A nivel mundial las organizaciones que aplican modelos de optimización obtienen reducciones en sus costos, por lo que estos modelos cada día son más relevantes entre la comunidad científica internacional (Bermúdez, 2011). La optimización matemática en programación lineal (PL) y programación lineal entera (PLE), tienen una amplia aplicación para resolver problemas empresariales reales, permitiendo la toma de decisiones individuales y conjuntas para la gestión organizacional, con el objeto de usar eficientemente los recursos e incrementar los ganancias (Fernández, 2011). La mayoría de investigadores están de acuerdo que los problemas de *scheduling* (programación) pueden resolverse óptimamente empleando técnicas de programación matemática (Jain & Meeran, 1999). Fernández (2011) destaca la vigencia de la optimización en PL y PLE, para resolver problemas relacionados con la programación de la producción y los requerimientos de materiales.

La planificación y programación de las actividades en una empresa tiene una implicación directa en la eficiencia y desempeño de cualquier sistema manufacturero o de servicios (Mapokgole & Mbohwa, 2013; Rojas, 2012). La programación es una de las decisiones fundamentales en los sistemas de control de producción (Costa, Varela & Carmo, 2014), que se caracteriza por ser una de las actividades más complicadas en la gestión de sistemas

productivos, ya que maneja diferentes tipos de recursos y tareas simultáneamente (Morais & Mocellin, 2010). Las necesidades para una eficiente programación de la producción han aumentado, debido a las exigencias del mercado por productos de calidad, flexibilidad y tiempos de flujo, y otras medidas (Mapokgole & Mbohwa, 2013). Resultan plausible los estudios que sobre *scheduling* se hagan, ya que posiblemente la fase operacional sea la más desprotegida y poco tratada a nivel académico (Méndez, 2011).

Con la globalización, la intensa competencia, los avances tecnológicos, el entorno de negocios, la insuficiencia de la gestión tradicional y de los métodos de contabilidad de costos para eliminar los cuellos de botella, han llevado al desarrollo de nuevos métodos de gestión moderna y de técnicas de contabilidad de costos como la TOC, que las empresas deben utilizar, con el fin de alcanzar sus objetivos principales como aumentar la rentabilidad y el valor (Okutmuş, Kahveci & Kartašova, 2015).

La contabilidad de costos es incapaz de suministrar la información requerida para la correcta toma de decisión en las empresas (Queiroz & Rentes, 2010; Corbett, 2001), de acuerdo con TOC las medidas de desempeño de la contabilidad de gestión convencional no solo son innecesarias, sino enfocarse en ellas puede empeorar las cosas, por lo tanto, no sugiere utilizarlas. TOC trae una nueva dimensión a la filosofía de gestión y ofrece un desafío interesante a las formas tradicionales de ver la rentabilidad de una organización (Izmailov, 2014). TOC ve los procesos como eslabones de la misma cadena que están interrelacionados y son interdependientes, por lo que las compañías deberían enfocarse en comprender su propia estructura en términos de procesos, para ser más competitivos en el ámbito global (Şimşit et al, 2014).

De acuerdo con la Encuesta Anual Manufacturera del año 2016 que estudió 8.466 establecimientos industriales en Colombia, el sector de muebles representa un 4,0% de éstos, y le aporta a la generación de empleo del país con 18.300 puestos que equivalen al 2,5% del personal ocupado (Departamento administrativo nacional de estadística [DANE], 2017a). Durante el año 2016, la industria manufacturera creció 3,0% comparado con el año anterior, y la fabricación de muebles presentó una variación del valor agregado del 0,6% durante ese mismo periodo, incrementando su aporte al PIB del país (DANE, 2017b), y la producción bruta se mantuvo constante en cerca de US\$ 570 millones durante los años 2013, 2014 y 2015 (Departamento nacional de planeación [DNP], 2017).

El sector de muebles y partes presentó exportaciones equivalentes a US\$ 79,363 millones FOB en el año 2016 y durante el año 2017 se incrementó a US\$ 84,370 millones FOB (DANE, 2018). Según las cifras del DANE y de la (Dirección de impuestos y aduanas nacionales) DIAN, en los primeros diez meses del año 2016, el 32,3% de los muebles exportados por Colombia fueron sillas; especialmente de madera, metal y plástico; en segundo lugar están los muebles de madera para cocinas, alcobas y salas, con el 30,8%; seguido por los muebles metálicos con el 11,5% y los muebles plásticos con el 11,3%. En estas cuatro categorías se concentra más del 80% de los muebles nacionales vendidos en el exterior (Marín, 2017). Debido a la importancia de este sector industrial en la economía nacional, es preponderante el desarrollo e implantación de herramientas gerenciales que conduzcan al mejoramiento de la gestión de la producción, que se vea reflejado en mayor productividad y competitividad para el sector en mención.

En la empresa caso de estudio se evidenció retrasos en los tiempos de entrega de los productos a los clientes y altos inventarios en proceso, debido a las bajas tasa de productividad de los operarios y a la inadecuada programación de la producción, estas razones generan un incremento en los costos de fabricación, y reducción en las utilidades de la organización.

Investigaciones similares se han realizado en una industria de revestimientos cerámicos en Colombia, donde se desarrolló e implementó un modelo de TOC, que permitió sincronizar las operaciones y las decisiones logísticas de la cadena de abastecimiento, y una heurística para la programación de la producción desde la TA (Marín & Gutiérrez, 2013), y en una planta embotelladora de bebidas gaseosas, se determinó la mezcla óptima de productos a partir de la TOC y la técnica de PL (Ortiz & Caicedo, 2012).

En una industria de fundición se aplicó TOC al proceso productivo, lo que resultó en mejora del *throughput* (Abisambra & Mantilla, 2008). En una empresa del sector de muebles en Turquía se implementó TOC, lo cual determinó la mejor mezcla de productos y la secuencia de producción para una línea de productos (Okutmuş et al., 2015), y en una empresa de lácteos en Brasil se aplicó TOC, proporcionando la maximización de las ganancias (Buss, Gasparetto, Ducati & Schäfer, 2015), en estas dos últimas investigaciones no aplicaron la PL en el segundo paso de TOC, contrario a lo desarrollado en la industria de muebles caso estudio de la presente investigación.

De igual forma, se han hecho estudios para comparar los métodos de la contabilidad de costos tradicional y del *throughput* de la TOC, respecto a la mezcla de producción que maximice las utilidades, en: una empresa metalúrgica en Brasil, donde la TA obtuvo un incremento en las utilidades comparado con la contabilidad de costos (Sinisgalli, Urbina & Alves, 2009); una fábrica de Cementos (González & Escobar, 2008); una empresa pequeña de calzado (Ortiz & Caicedo, 2014); una compañía manufacturera hipotética en Turquía, cuyas utilidades se incrementaron en cerca del 35% por la TA (Kirli, 2016) y en Altumi & AL-yaseer, (2016) incluyeron un tercer método, la PL, para un estudio de caso numérico.

El objetivo de la investigación fue determinar la programación óptima de la producción, desde los enfoques de la contabilidad del *throughput* de la TOC, y alternativamente la optimización, como la PL, que maximice las utilidades y el aprovechamiento de los recursos productivos, en una industria de muebles para cocinas y baños.

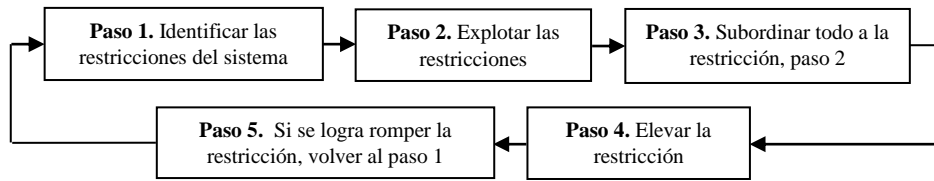
El artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2, se presenta la metodología de la TOC con su enfoque de la Contabilidad del *Throughput*, y las etapas de la Investigación de operaciones y los componentes básicos de la PL; en la sección tres, está el caso de aplicación en la industria de muebles, se describe el proceso productivo, el caso de aplicación y su solución por medio de la TOC y la optimización. Finalmente, se presentan las conclusiones de la investigación.

## **2. La investigación de operaciones y la teoría de restricciones**

### **2.1 La TOC y la contabilidad del *Throughput***

La TOC se enfoca en el rol que juegan las restricciones en los sistemas con la finalidad de mejorar su desempeño. Las restricciones pueden ser de mercado, de recursos internos y políticas. En la figura 1 se observan los pasos de la TOC, donde los primeros dos pasos apoyan las decisiones de mezcla de productos a corto plazo, mientras los otros se orientan hacia la planificación de la capacidad en el mediano o largo plazo del sistema de producción (Souren et al., 2005).

**Figura 1. Etapas de la Teoría de restricciones**



Fuente: Sipper & Bulfin (1998).

Los cuellos de botella (restricción) son la base para la programación y la planeación de la capacidad del sistema de producción, éstos se deben programar a su máxima utilización, mientras que los procesos no cuello de botella se programan para servir al cuello de botella. El objetivo de máxima eficiencia para todas las máquinas no se satisface en la TOC (Sipper & Bulfin, 1998).

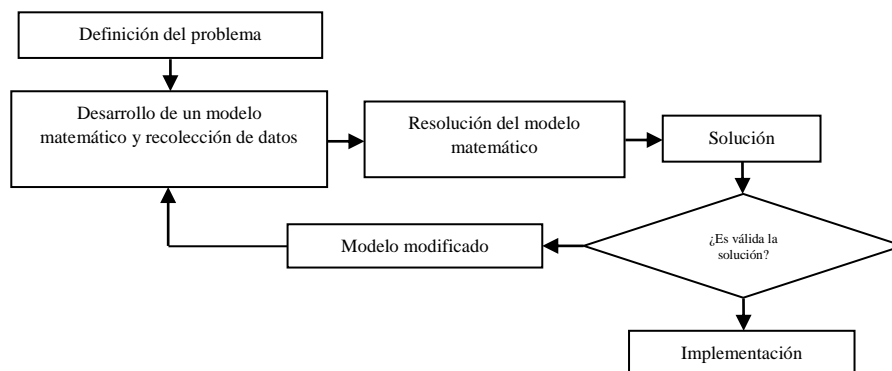
Como una herramienta para la decisión de mezcla de productos, el enfoque basado en TOC es con frecuencia usado alternativamente (o paralelo) a herramientas de optimización, como el método del margen de contribución por unidad de restricción o enfoques de PL (Souren et al., 2005). Luebbe y Finch (1992) en su investigación proponen aplicar la metodología de la TOC usando el enfoque de PL. De la misma forma, Balakrishnan & Cheng (2000) llegaron a la conclusión que la PL puede ser vista como una herramienta relevante, para garantizar que los principios de la TOC se apliquen correctamente e incrementen el *throughput* de manera eficiente.

De acuerdo con el sistema de contabilidad de costos de Goldratt “del Valor” (*throughput*), el *Throughput* se define como los ingresos menos los costos totalmente variables, sin embargo, en la mayoría de escritos, *throughput* se define como ingresos menos costos de materiales. Los resultados financieros en la Contabilidad del *throughput* se pueden determinar y comunicar de una manera rápida, de bajo costo y sencilla, de tal manera, que puedan ser comprendidos fácilmente en la fábrica (Noreen, Smith & Mackey, 1997). Cuando la organización se enfoca en el *throughput*, la gerencia piensa en la empresa como un todo, con una visión global, ya que solo se puede aumentar el *throughput* al optimizar la restricción del sistema. Además, evita que los gestores optimicen una parte del sistema sin considerar la meta de todo el sistema (Corbett, 2001).

## 2.2 La Investigación de operaciones y la PL

Para aplicar métodos cuantitativos se requiere aplicar una serie de pasos que se observan en la figura 2.

**Figura 2. Metodología de la investigación de operaciones**



Fuente: Mathur y Solow (1996)

De acuerdo con la figura 2, el primer paso es identificar, comprender y describir el problema que la organización enfrenta. seguidamente, se expresa el problema por medio de un modelo matemático, que se resuelve dependiendo de la forma o tipo específico de modelo, luego de elegir una técnica apropiada para solucionarlo, que pueden ser métodos óptimos o heurísticos. Finalmente, se procede a validar la solución.

El modelo de PL como en cualquier modelo de investigación de operaciones, tiene tres componentes básicos: las variables de decisión que se trata de determinar, el objetivo (la meta) que se trata de optimizar y las restricciones que se deben satisfacer (Mathur & Solow, 1996).

Para resolver el modelo matemático de PLE se utilizó la herramienta Solver de Microsoft Excel, y para elaborar las gráficas Gantt, se utilizó el software *Lekin* versión 2.4 (Feldman & Pinedo, 2001).

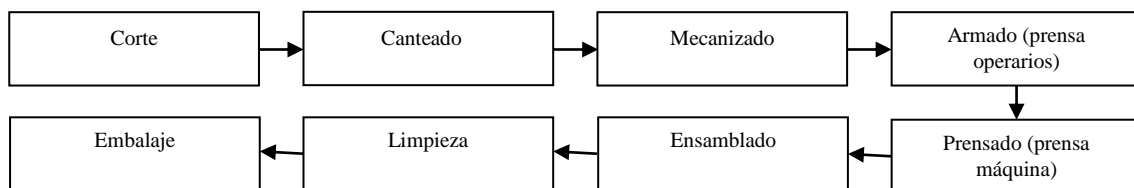
### 3. Caso de aplicación: industria de muebles

El caso de estudio es una industria mediana dedicada al diseño, producción y comercialización de mobiliarios para cocinas y baños con tendencia vanguardista, localizada en la ciudad de San José de Cúcuta, Colombia, que cubre la demanda de varias ciudades a nivel nacional. El estudio se realizó durante el segundo semestre del 2016.

#### 3.1 Descripción del proceso productivo

El proceso inicia con la medición de la zona destinada para los muebles y su respectivo diseño mediante un software especializado. Luego, se hace el despiece del mueble y esta información es enviada a la seccionadora donde se realiza el proceso de corte, y prosiguen los procesos de canteado, mecanizado (perforaciones y otros maquinados requeridos), prensado (armado y prensado de muebles), ensamblado (unión de bisagras, rieles u otros accesorios), limpiado y embalado. Según los acabados del mueble se puede requerir otras actividades auxiliares, tales como pegado de fórmica, pegado de madefilm o pintado. En la figura 3 se muestra el proceso productivo.

Figura 3. Etapas del proceso productivo de la industria de muebles.



Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2 Descripción del caso de aplicación

La investigación consideró determinar la mejor mezcla de producción y su secuencia, para cuatro órdenes de muebles de cocina (A, B, C, D), por medio de la aplicación de la metodología de la TOC y la PL. En la tabla 1, se presentan los tiempos de producción por mueble en cada etapa del proceso productivo, los cuales fueron ajustados de acuerdo con las tasas de productividad de los trabajadores.

#### 3.3 Solución del caso de aplicación



A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la TOC y la optimización, para el caso de estudio.

### Paso 1. Identificar la restricción

Teniendo en cuenta los tiempos de producción y la demanda por mueble de cocina que se aprecian en la tabla 1, se determinó la capacidad requerida por cada proceso. Para la capacidad disponible en cada proceso se tuvo en cuenta la disponibilidad semanal, excluyendo los tiempos de descanso. Finalmente, se observa el cuello de botella (restricción) que se encuentra en la máquina *Venture* (proceso de mecanizado) con una utilización del 193.71 %, que se determinó luego de relacionar la capacidad requerida con la capacidad disponible.

Tabla 1. Identificación de la restricción, a partir del porcentaje de utilización

Proceso	Puestos de trabajo	Número de máquinas o trabajadores	Tiempos de producción por mueble de cocina (minutos)				Capacidad requerida (min)	Capacidad disponible (min)	Utilización (%)
			A	B	C	D			
Corte	Seccionadora	1	60.09	64.6	61.93	26.1	772.59	2.780	27.79%
Canteadado	Canteadora	2	171.53	152.71	171.53	81.2	2064.26	5.560	37.13%
Mecanizado	Skyper	1	0	0	0	0	0	0	0,00%
	Venture	1	446.43	398.39	446.43	220.07	5385.07	2.780	193.71%
	Total Mecanizado	2	446.43	398.39	446.43	220.07	5385.07	2.780	193.71%
Prensado	Prensa operarios	2	367.28	335.74	367.28	144.33	4425.52	5.560	79.6%
	Prensa máquina	1	106.51	102.12	106.51	40.75	1301.31	2.780	46.81%
Ensamble	Armado	8	756.25	634.47	756.25	199.77	8787.64	22.240	39.51%
	Manijas	1	111.43	97.15	111.43	0	1280.06	2.780	46.05%
Limpieza	Limpieza	7	577.96	524.6	577.96	187.21	6909.3	19.460	35.51%
Embalaje	Embalaje	4	192.15	188.77	192.15	54.25	2346.5	11.120	21.1%
Formica	Fórmica	1	0	0	0	0	0	2.780	0,00%
Demanda (Unid)			4	4	4	1			

Fuente: Elaboración propia.

### Paso 2. Explotar la restricción

Como el tiempo disponible en la restricción es limitado, por lo tanto, se requiere determinar en qué medida se explotará la restricción, con el fin de maximizar el *throughput*. Para Altumi & AL-yaseer (2016) la PL es considerada la herramienta más eficiente respecto al problema de mezcla óptima de productos, la cual es usada en muchos estudios para validar la optimalidad de la solución obtenida por otros enfoques. Para el desarrollo de este paso se formuló un modelo matemático de PLE, como herramienta complementaria a la TA de la TOC, para determinar el programa óptimo de producción, que se describe a continuación.

### Modelo matemático de PLE para la programación de la producción

#### Definición de las variables de decisión.

$C_{ij}$  : Cantidad de muebles de cocinas  $i$  a producir en el periodo  $j$ .  
 $i$  : Subíndice que identifica el tipo de mueble de cocina a producir, donde  $i = 1, \dots, N$   
 $j$  : Subíndice que identifica el periodo de producción, donde  $j = 1, \dots, T$   
 $p$ : Subíndice que identifica el proceso a realizar, donde  $p = 1, \dots, P$

### Definición de parámetros constantes.

$U_i$  = Margen *throughput* por mueble de cocina  $i$  fabricado.  
 $D_{ij}$  = Demanda de mueble de cocina  $i$  en el periodo  $j$ .  
 $Tr_{ip}$  = Tiempo requerido por mueble de cocina  $i$  en el proceso  $p$ .  
 $Td_{pj}$  = Tiempo disponible de cada proceso  $p$  en el periodo  $j$ .

**Función objetivo.** El objetivo planteado fue la maximización del *throughput* que se encuentra dado por la expresión (1):

$$\text{Max } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^T U_i * C_{ij} \quad [1]$$

**Restricciones del problema.** El modelo matemático consideró restricciones tales como: la demanda, la capacidad disponible, y las variables enteras y no negativas.

**Restricción de demanda.** La demanda corresponde a cuatro (4) órdenes de producción, las cuales equivalen a trece (13) muebles de cocina (expresión 2).

$$C_{ij} \geq D_{ij} \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, j \in \{1, \dots, T\} \quad [2]$$

**Restricción de capacidad.** La restricción de capacidad para cada proceso se presenta en la expresión 3.

$$\sum_{i=1}^N Tr_{ip} * C_{ij} \leq Td_{pj} \quad \forall j \in \{1, \dots, T\}, p \in \{1, \dots, P\} \quad [3]$$

**Restricción de variables enteras y no negativas.** Debido a la naturaleza de los productos, se requiere que las variables de decisión sean enteras y no negativas (expresión 4).

$$C_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}, j \in \{1, \dots, T\} \quad [4]$$

### Solución obtenida por el método de PLE

En la tabla 2, se presenta el precio de venta, los costos de mano de obra, los indirectos de fabricación (CIF) y de los materiales, por el total de muebles de cocina a fabricar en cada orden de producción (demanda). El margen *throughput* por mueble se determinó con la diferencia entre el precio de venta y los costos de los materiales. Igualmente, se calculó el margen *throughput* por unidad de tiempo en la restricción, relacionando el margen *throughput* por mueble con el tiempo de producción por mueble en la restricción (proceso de mecanizado, ver tabla 1). Posteriormente, se evidencia la solución del modelo matemático, cantidades a fabricar, que no satisfacen la demanda total, pero explota la restricción con el objeto de maximizar el *throughput* y las utilidades, cuyos resultados fueron de \$ 4,179.062 y \$ 3,079.647, respectivamente.

### Solución obtenida por el método de la Contabilidad del *Throughput* de la TOC

Para solucionar el problema de mezcla óptima de productos, los enfoques heurísticos de la TOC y el convencional son frecuentemente usados por gerentes, quienes carecen de

habilidades matemáticas necesarias para la aplicación de la PL (Altumi & AL-yaseer, 2016). La restricción del sistema presenta limitación en el tiempo disponible y los diferentes productos requieren diversos tiempos en ésta, por lo tanto, las prioridades de producción se determinan de acuerdo con aquellos productos con mayor margen *throughput*, y a su vez, que requieran menor tiempo en la restricción. Los productos con mayor margen *throughput* por unidad de tiempo en la restricción, son los que más contribuyen a las utilidades de la empresa (Corbett, 2001). Este indicador es útil para determinar el programa óptimo y la secuencia de producción. Por otro parte, el maximizar la utilidad por unidad de restricción (cuello de botella), se traduce en maximizar las utilidades totales (González & Escobar, 2008).

Teniendo en cuenta el párrafo anterior, en parte final de la tabla 2 se aprecia la solución obtenida por la TA, la cual no consideró la orden de producción C, porque el tiempo acumulado requerido en la restricción excedía el tiempo disponible en ésta, por lo tanto, se seleccionó la siguiente orden con mayor margen *throughput* por unidad de tiempo en la restricción, que fue una unidad de la orden D. La solución obtenida fue la misma del método de la PLE, ya que como lo argumenta Hilmola & Li (2016) la TA sigue siendo un enfoque adecuado para la maximización del beneficio, en una situación en la que sólo existe una restricción de producción importante, tal como se presentó en esta investigación. A su vez, Souren et al. (2005) afirman en su caso especial número tres (3), que el enfoque basado en TOC conduce, sin duda, a una solución óptima, siempre que el orden ascendente de los tiempos de procesamiento del producto en la máquina cuello de botella cumpla con el orden descendente del *throughput*. Para este estudio no se cumple este caso, sin embargo, se obtuvo una solución óptima al problema.

**Tabla 2. Programación de la producción por PLE y TA de la TOC, con demanda insatisfecha**

	A	B	C	D
Costo de materiales (USD)	1,197.82	1,234.58	1,247.89	189.96
Costo de mano de obra (USD)	388.20	348.07	388.59	36.77
CIF (USD)	317.20	316.53	327.29	45.35
Precio de venta (USD)	3,525.01	4,069.45	3,525.01	370.56
<i>Throughput</i> (USD)	2,327.19	2,834.87	2,277.12	180.60
Margen <i>Throughput</i> por mueble ( $U_i$ ) (USD)	581.80	708.72	569.28	180.60
Margen <i>Throughput</i> por unidad de tiempo en la restricción (USD \$/min)	1.30	1.78	1.28	0.82
<b>SOLUCION POR EL METODO DE LA PLE</b>				
Cantidades a fabricar (Unid)	2	4	0	1
Secuencia de producción	2	1	3	4
Z (Max. <i>Throughput</i> ) (USD)				4,179.062
Utilidades (USD)				3,079.647
<b>SOLUCION POR EL METODO DE LA CONTABILIDAD DEL THROUGHPUT</b>				
Cantidades a fabricar (Unid)	2	4	0	1
Secuencia de producción	2	1	3	4
Tiempo requerido en la restricción (min)	892.86	1,593.57	0.00	220.07
Tiempo acumulado requerido en la restricción (min)	2,486.43	1,593.57	2,486.43	2,706.49
Tiempo disponible en la restricción (min)				2,780.00

Fuente: Elaboración propia.

### Paso 3. Subordinar todo a la restricción

Consiste en lograr un ajuste de la productividad en cada etapa del proceso de acuerdo con la restricción, debido a que las demás etapas respecto a éste, presentan márgenes de utilización bajos, por lo tanto, es recomendable procesar lo necesario para satisfacer la restricción.

#### Paso 4. Elevar la restricción

La empresa cuenta con dos máquinas similares para el proceso de mecanizado, el *Skyper* y el *Venture*, pero existe una política que restringe el uso del *Skyper* solo para determinados productos de ciertos clientes, por lo cual, se propuso que éste tenga un uso general. De igual modo, los trabajadores de actividades predecesoras al cuello de botella, al momento de fabricar lo necesario para satisfacer la actividad restrictiva, se encargarán de realizar actividades auxiliares, como el transporte de partes y materiales, eliminando este tipo de actividades en los trabajadores del cuello de botella, con el fin de incrementar su tiempo productivo para agregar valor a los productos. Con estas decisiones se mejora la restricción, al reducir la utilización del proceso cuello de botella del 193.71 % al 71.27 %, además, los procesos de prensado, ensamble, limpieza y embalaje incrementaron su productividad, que se evidencian en la tabla 3. De forma similar, Marín & Gutiérrez (2013) y Okutmuş et al. (2015) en sus investigaciones evidencian que luego de implementar TOC se puede mejorar: el nivel de servicio al cliente, satisfacer las demandas a tiempo, las ganancias y la productividad de la empresa.

**Tabla 3. Determinación del porcentaje de utilización con las mejoras propuestas**

Proceso	Puestos de trabajo	Número de máquinas o trabajadores	Tiempos de producción por mueble de cocina (minutos)				Capacidad requerida (min)	Capacidad disponible (min)	Utilización (%)
			A	B	C	D			
Corte	Seccionadora	1	60.09	64.6	61.93	26.1	772.59	2,780	27.79%
Canteado	Canteadora	2	171.53	152.71	171.53	81.2	2,064.26	5,560	37.13%
Mecanizado	Skyper	1	268.59	0	268.59	0	2,148.73	2,780	77.29%
	Venture	1	0	398.39	0	220.0	1,813.63	2,780	65.24%
	Total Mecanizado	2	268.59	398.39	268.59	220.0	3,962.36	5,560	71.27%
Prensado	Prensa operarios	2	270.16	246.96	270.16	106.1	3,255.28	5,560	58.55%
	Prensa máquina	1	106.51	102.12	106.51	40.75	1,301.31	2,780	46.81%
Ensamble	Armado	8	709.56	595.3	709.56	187.4	8,245.14	22,240	37.07%
	Manijas	1	104.55	91.15	104.55	0	1,201.04	2,780	43.2%
Limpieza	Limpieza	7	543.55	493.37	543.55	176.0	6,497.92	19,460	33.39%
Embalaje	Embalaje	4	138.8	136.36	138.8	39.19	1,695.05	11,120	15.24%
Formica	Fórmica	1	0	0	0	0	0	2,780	0,00%
Demanda (Unid)			4	4	4	1			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3, en el proceso de mecanizado las órdenes de producción se asignaron a la máquina (*Venture* o *Skyper*) que tarde menos tiempo en procesarlas. Con las mejoras propuestas, la nueva solución por el método de la PLE determina la cantidades a fabricar que satisfacen la demanda completamente (ver tabla 1), y se obtiene un máximo *throughput* y utilidades de \$ 7,619.77 y \$ 5,778.05, respectivamente, como se aprecian en la tabla 4, generando un incremento en las utilidades del 87.62 %. Okutmuş et al. (2015) luego de

gestionar efectivamente las restricciones de capacidad identificadas con base en TOC, lograron aumentar las utilidades un 42%. Y en una compañía manufacturera hipotética en Turquía, las utilidades incrementaron en cerca del 35% por la TA (Kirli, 2016).

### Nueva solución obtenida por el método de la Contabilidad del *Throughput*

Debido a las mejoras presentadas en los tiempos unitarios de las órdenes de producción A y C, en los procesos de prensado, ensamble, limpieza, embalaje y principalmente en la restricción (proceso de mecanizado), como se observa en la tabla 3, esto generó un incremento en el margen *throughput* por unidad de tiempo en la restricción de estas órdenes de producción, como se aprecia en la tabla 4, dando como resultado las cantidades a fabricar que satisfacen la demanda completamente, y la nueva secuencia que difiere de la obtenida en el paso de explotación de la restricción (tabla 2).

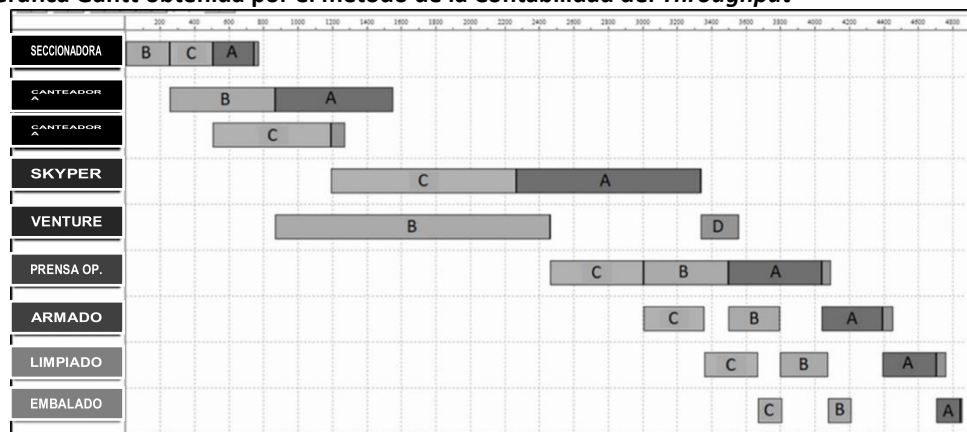
Tabla 4. Programación de la producción por PLE y TA de la TOC (solución entera), con demanda satisfecha

	A	B	C	D
Costo de materiales (USD)	1,197.82	1,234.58	1,247.89	189.96
Costo de mano de obra (USD)	267.69	319.82	268.08	34.15
CIF (USD)	293.10	310.88	303.19	44.82
Precio de venta (USD)	3,525.01	4,069.45	3,525.01	370.56
<i>Throughput</i> (USD)	2,327.19	2,834.87	2,277.12	180.60
Margen <i>Throughput</i> por mueble ( $U_i$ ) (USD)	581.80	708.72	569.28	180.60
Margen <i>Throughput</i> por unidad de tiempo en la restricción ((USD) \$/min)	2.17	1.78	2.12	0.82
<b>SOLUCION POR EL METODO DE LA PLE</b>				
Cantidades a fabricar (Unid)	4	4	4	1
Secuencia de producción	1	3	2	4
Z (Max. <i>Throughput</i> ) (USD)	7,619.77			
Utilidades (USD)	5,778.05			
<b>SOLUCION POR EL METODO DE LA CONTABILIDAD DEL THROUGHPUT</b>				
Cantidades a fabricar (Unid)	4	4	4	1
Secuencia de producción	1	3	2	4
Tiempo requerido en la restricción (min)	1,074.36	1,593.57	1,074.36	220.07
Tiempo acumulado requerido en la restricción (min)	1,074.36	3,742.30	2,148.73	3,962.36
Tiempo disponible en la restricción (min)	5,560			

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, se aprecia la secuenciación de la producción por orden de producción, cuyo tiempo de terminación de todas las órdenes (*makespan*) fue de 4857 minutos.

Figura 4. Gráfica Gantt obtenida por el método de la Contabilidad del *Throughput*



Fuente: Elaboración propia.

### Paso 5. Encontrar la nueva restricción y repetir los pasos.

En la tabla 5 se observa que el tiempo disponible en la restricción identificada inicialmente (5,560 min.), es superior al tiempo acumulado requerido en la restricción (3,962.36 min.), lo cual resulta suficiente para atender la demanda actual. Lo anterior indica que la restricción ya no es interna sino ahora está en el mercado, por lo que se plantea un nuevo escenario donde se incrementa la demanda, considerando dos nuevos órdenes de producción (E, F) con respecto al caso inicial, que representan cinco muebles de cocina a fabricar. En la tabla 5, se evidencia que nuevamente la restricción se ubica en el proceso de mecanizado (máquina *Venture*) que presenta la mayor utilización equivalente al 114.65 %. De la misma manera, se observa que las cantidades a fabricar obtenidas por el método de la TA y el de la PLE, se diferencian en las órdenes de producción C y E. El valor de máximo de las utilidades por el método de PLE fue \$ 8,354.21, mientras que por el método de la TA fue de \$ 8,235.84. Por lo tanto, en este caso el enfoque de la TA con solución entera no garantiza una solución óptima para este problema, como lo argumenta Souren et al. (2005) que cuando se exige una solución entera, podría conducir a una solución no óptima.

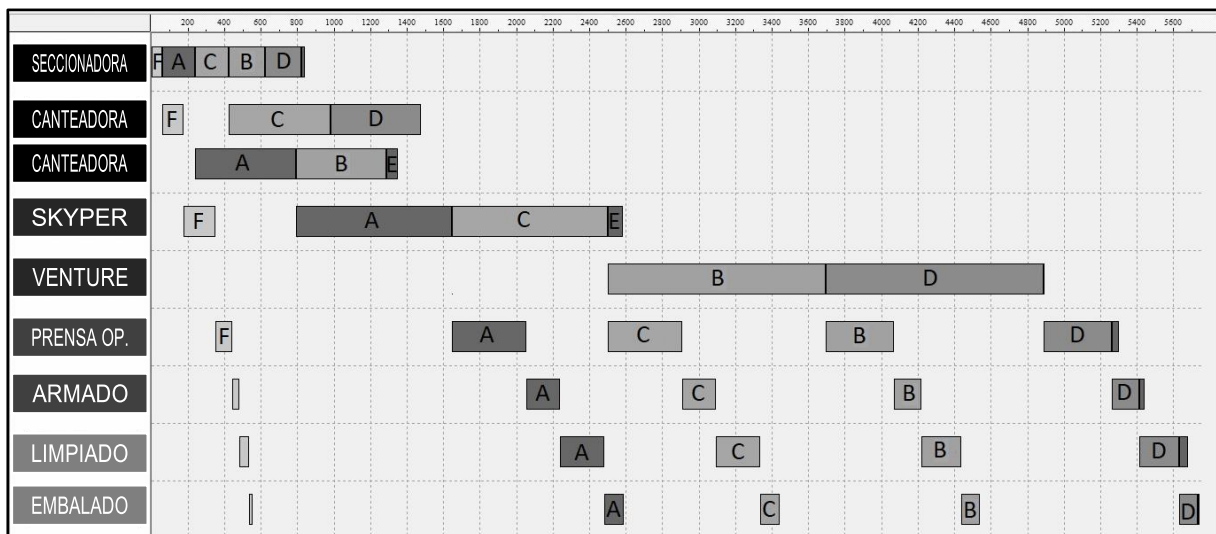
**Tabla 5. Identificación de la restricción, a partir del porcentaje de utilización – nuevo escenario, y programación de la producción**

Proceso	Puestos de trabajo	Número de máquinas o trabajadores	Tiempos de producción por mueble de cocina (minutos)						Capacidad requerida (min)	Capacidad disponible (min)	Utilización (%)	
			A	B	C	D	E	F				
Corte	Seccionadora	1	60.09	64.6	61.93	26.1	65.59	77.13	1,112.1	2,780	40,00%	
Canteado	Canteadora	2	171.53	152.71	171.53	81.2	152.71	147.07	2,822.2	5,560	50.76%	
Mecanizado	Skyper	1	268.59	0	268.59	124.75	0	239.13	2,512.6	2,780	90.38%	
	Venture	1	0	398.39	0	0	398.39	0	3,187.1	2,780	114.65%	
	Total Mecanizado	2	268.59	398.39	268.59	124.75	398.39	239.13	5,699.7	5,560	102.51%	
Prensado	Prensa operarios	2	270.16	246.96	270.16	106.17	246.96	252.65	4,495.8	5,560	80.86%	
	Prensa máquina	1	106.51	102.12	106.51	40.75	102.12	102.12	1,811.9	2,780	65.18%	
Ensamble	Armado	8	709.56	595.3	709.56	187.43	595.3	594.81	11,221.1	22,240	50.45%	
	Manijas	1	104.55	91.15	104.55	0	91.15	97.85	1,663.5	2,780	59.84%	
Limpieza	Limpieza	7	543.55	493.37	543.55	176.06	493.37	456.54	8,927.9	19,460	45.88%	
Embalaje	Embalaje	4	138.8	136.36	138.8	39.19	136.36	129.04	2,369.5	11,120	21.31%	
Formica	Fórmica	1	0	0	0	0	0	223.38	223.4	2,780	8.04%	
Margen Throughput por unidad de tiempo en la restricción (USD \$/min)			2.17	1.78	2.12	1.45	1.77	1.45				
Demanda (Unid)			4	4	4	1	4	1				
<b>SOLUCION POR EL METODO DE LA PLE</b>												
Cantidades a fabricar (Unid)			4	4	3	1	4	1				
Secuencia a fabricar			2	4	3	6	5	1				
Z (Max. Throughput) (USD)									10,838.42			
Utilidad (USD)									8,354.21			
<b>SOLUCION POR EL METODO DE LA CONTABILIDAD DEL THROUGHPUT</b>												
Cantidades a fabricar (Unid)			4	4	4	1	3	1				
Secuencia de producción			2	4	3	6	5	1				
Tiempo requerido en la restricción (min)			1,074.36	1,593.57	1,074.36	124.756	1,195.18	239.14				
Tiempo acumulado requerido en la restricción (min)			1,313.50	3,981.43	2,387.86	5,301.35	5,176.60	239.13				
Tiempo disponible en la restricción (min)									5,560			
Utilidad (USD)									8,235.84			

Fuente: Elaboración propia.

Con el objeto de continuar con el proceso de mejora continua que plantea la TOC, se propone un ajuste en las tasas de productividad de los procesos, especialmente la restricción, de modo que todas las actividades se supervisen de forma constante para generar un incremento en la producción, además, como los procesos de armado, limpieza y embalaje se subdividen en varios puestos de trabajo, se sugiere que el ritmo de cada trabajador se incremente al del operario más ágil. Con esta medida propuesta la nueva utilización del cuello de botella sería del 89.05 %, lo que significa que se puede satisfacer la nueva demanda planteada en el escenario, obteniendo por el método de PLE un valor máximo en las utilidades de \$ 9,233.27. En la figura 5, se aprecia la secuenciación de la producción por orden, cuyo tiempo total de terminación (*makespan*) fue de 5746 minutos.

**Figura 5. Gráfica Gantt obtenida por el método de la Contabilidad del *Throughput***



Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

Se determinaron las cantidades óptimas y la secuenciación de la producción, en una industria mediana de muebles para cocinas y baños, a partir de la aplicación de las herramientas gerenciales de la contabilidad del *throughput* de la TOC y la PLE, cuyos resultados luego de elevar la restricción fueron similares, con una utilidad de \$ 5,778.05 y un tiempo total de terminación de los trabajos de 4857 minutos. Sin embargo, luego de proponer un nuevo escenario con incremento en la demanda, el enfoque de la TA con solución de variables enteras no garantiza una solución óptima al problema, al obtener resultados menores que los obtenidos por la PLE, en \$ 118.37 en las utilidades, equivalentes al 1.42 %.

Se identificó al proceso de mecanizado como la restricción (cuello de botella) del sistema de producción con una utilización del 193.71 %, el cual fue explotado y elevado, luego de proponer la aplicación de la metodología de la TOC, que incluyó decisiones como el cambio de la política de uso específico de la máquina Skyper a uso general, y la asignación de actividades auxiliares a los trabajadores de los procesos no cuello de botella, previos a la restricción, con el fin de eliminar carga de trabajo a la restricción. Sin necesidad de hacer alguna inversión, se logró proponer el uso adecuado de los recursos productivos, generando un beneficio para la organización al incrementar sus utilidades en 87.62 %.

El modelo matemático desarrollado dentro del enfoque de la PLE, como herramienta complementaria en el proceso de implementación de la TOC, resultó valioso por la calidad de

sus resultados al garantizar una solución óptima al problema, sin embargo, para problemas de gran tamaño su formulación y solución se vuelve compleja. Por otro lado, aunque la TA no siempre garantiza una solución óptima al problema de mezcla de producción, ésta se constituye en una herramienta heurística útil, por su fácil aplicación y comprensión por parte de los gestores de la producción, y la calidad de sus resultados de una forma rápida.

El procedimiento desarrollado en esta investigación donde se aplicó la TOC y alternativamente la optimización, para mejorar el desempeño del sistema productivo del caso de estudio, demostró que la empresa inició un nuevo ciclo de TOC, es decir, un proceso de mejora continua, ya que durante cada ciclo se debe mejorar la gestión de operaciones, de tal forma que se refleje en incremento de las utilidades, la productividad y la competitividad. Este procedimiento es susceptible de replicarlo en otras empresas fabricantes de muebles que tengan las mismas características de operación de la unidad de estudio.

## 5. Referencias

- Abisambra, A. & Mantilla, L. (2008). Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) a los procesos de producción de la planta de fundición de Imusa. *Revista Soluciones de Postgrado EIA*. (2), p. 121–133, ISSN 2811-3854. Recuperado de: < <http://repository.eia.edu.co:8080/bitstream/11190/635/1/RSO00019.pdf> >
- Altumi, A. & AL-yaseer, A. H. (2016). The Conventional, the Theory of Constraints, and the Linear Programming: Three Approaches to the Optimum Production Mix: A Comparative Study". *International Journal of Computer Engineering and Information Technology* 8, (7), p. 125–140. Recovered from: <<https://search.proquest.com/openview/8700da7273f29047d1f29cba711a48bc/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044551>>
- Balakrishnan, J. & Cheng, C. (2000). Theory of constraints and linear programming: a reexamination. *International Journal of Production Research*, (38), p. 1459–1463. Recovered from: <[https://prism.ucalgary.ca/bitstream/handle/1880/46667/Balakrishnan\\_IJPr\\_2000a.pdf;jsessionid=062BA34A923EAEE312BEF3403A307E82?sequence=1](https://prism.ucalgary.ca/bitstream/handle/1880/46667/Balakrishnan_IJPr_2000a.pdf;jsessionid=062BA34A923EAEE312BEF3403A307E82?sequence=1)>
- Buss, L. M., Gasparetto, V., Ducati, E. & Schäfer, J. D. (11 al 13 de noviembre de 2015). Teoria das Restrições (TOC): utilização em um laticínio catarinense. In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. XXII Congresso Brasileiro de Custos – Foz do Iguaçu, PR, Brasil*.
- Bermúdez, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 2 (7), 85–104. Recuperado de: <<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/Inge-Industrial/volIII-n7/art6.pdf> >
- Corbett, T. (2001). *La Contabilidad del Trúput. El sistema de Contabilidad gerencial de TOC*. Bogotá, Colombia: Piénsalo, 2, p. 178, ISBN 9589701205.
- Costa, N. M., Varela, M. L. & Carmo, S. (2014). Scheduling in product oriented manufacturing systems. In *Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, Sixth World Congress, p. 196–201. Porto: IEEE.
- DANE (2017a). Encuesta anual manufacturera (2016) Boletín técnico. Recuperado de: <[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin\\_eam\\_2016.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2016.pdf)>
- DANE (2017b). Cuentas Trimestrales - Colombia Producto Interno Bruto (PIB) Cuarto Trimestre de 2016. Variación acumulada anual % del PIB. Recuperado de: <[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol\\_PIB\\_IVtrim16\\_oferta\\_demanda.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IVtrim16_oferta_demanda.pdf)>
- DANE (2018). Colombia, exportaciones totales, según agregación CUCI Rev.3 (sección y capítulos constitutivos) 2016 – 2018p (marzo) Recuperado de: <<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-internacional/exportaciones>>



- Davies, J. & Mabin, V. (2011). Theory of Constraints. *Revista Virtual Pro*. Recuperado de: <<http://www.revistavirtualpro.com/revista/index.php?ed=2011-09-01&pag=20>>
- DNP (2017). Resumen de las principales variables de la industria manufacturera (1974 - 2015). <Recuperado de: <https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-empresarial/Paginas/industria.aspx>>
- Feldman, A. & Pinedo, M. (2001). LEKIN versión 2.4. Flexible job-shop scheduling system.
- Fernández, C. (2011). Programación lineal e Ingeniería Industrial: una aproximación al estado del arte. *Ingeniería Industrial. Actualidad y nuevas tendencias*, 2 (6), p. 61–78. Recuperado de: <<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/Inge-Industrial/VolIII-n6/art4.pdf>>
- Goldratt, E. & Cox, J. (2008). *La meta*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Granica S.A., p. 480. ISBN 978-950-641-523-5.
- González, P. & Escobar, J. (2008). Teoría de las restricciones (TOC) y la mecánica del Throughput Accounting (TA). Una aproximación a un modelo gerencial para toma de decisiones: caso compañía de Cementos Andino S.A. *Cuadernos de Contabilidad*, 7 (24), 209–228. Recuperado de: [http://www.javeriana.edu.co/fcea/cuadernos\\_contab/vol9\\_n\\_24/vol9\\_24\\_7.pdf](http://www.javeriana.edu.co/fcea/cuadernos_contab/vol9_n_24/vol9_24_7.pdf)
- Hilmola, O. P. & Li, W. (2016). Throughput accounting heuristics is still adequate: Response to criticism. *Expert Systems with Applications*, (58), p. 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.03.051>.
- Izmailov, A. (2014). If your company is considering the Theory Of Constraints. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, (150), p. 925–929. Recovered from: < [https://ac.els-cdn.com/S1877042814051520/1-s2.0-S1877042814051520-main.pdf?\\_tid=726f588c-cffa-4224-b0ca-ac7856f74a5d&acdnat=1525174719\\_14de19b8f10f86588d44bb0602428b08](https://ac.els-cdn.com/S1877042814051520/1-s2.0-S1877042814051520-main.pdf?_tid=726f588c-cffa-4224-b0ca-ac7856f74a5d&acdnat=1525174719_14de19b8f10f86588d44bb0602428b08)>
- Jain, A. & Meeran, S. (1999). A state of the art review of job shop scheduling techniques. *European journal of operations research*, (113), p. 390–434. Recovered from: <[ftp://143.106.148.79/pub/docs/vonzuben/ia707\\_1s04/textos/jain98stateart.pdf](ftp://143.106.148.79/pub/docs/vonzuben/ia707_1s04/textos/jain98stateart.pdf)>
- Kirli, M. (2016). Throughput Accounting in Strategic Cost Management: An Application. *Annals of "Dunarea de Jos" University of Galati Fascicle I. Economics and Applied Informatics Years XXII – no2/2016*. ISSN-L 1584-0409 ISSN-Online 2344-441X. [www.eia.feaa.ugal.ro](http://www.eia.feaa.ugal.ro).
- Krajewski, L., Ritzman, L. & Malhotra, M. (2008). *Administración de operaciones, Procesos y cadenas de valor*. México D.C., México: Pearson Educación. p. 752.
- Luebbe, Richard & Finch, Byron (1992). Theory of Constraints and Linear Programming. *International Journal of Production Research*, (30), p. 1471–1478. <https://doi.org/10.1080/00207549208942967>.
- Mapokgole, J. & Mbohwa, C. (2013). Evaluating performance of production scheduling from an economic perspective. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(24), p. 538–545. DOI: 10.3182/20130911-3-BR-3021.00116
- Marín, C. (2017). El sector del mueble bajo la lupa: cifras claves para el 2017. *Revista M&M*. Recuperado de:<<https://revista-mm.com/blog/2017/03/16/sector-mueble-bajo-lupa-cifras-claves-2017>>
- Marín, W. & Gutiérrez, E. (2013). Desarrollo e implementación de un modelo de teoría de restricciones para sincronizar las operaciones en la cadena de suministro. *Revista EIA*, 10(19), p. 67–77. Recuperado de: <<http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n19/n19a06.pdf>>
- Mathur, K. & Solow, D. (1996). *Investigación de operaciones. El arte en la toma de decisiones*. México D.C., México: Prentice Hall.
- Méndez, G. A. (2011). *Programacion de tareas –Scheduling*. Bogotá: Colombia, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Morais, M. & Moccellini, J. (2010). Métodos heurísticos constructivos para redução do estoque em processo em ambientes de produção flow shop híbridos com tempos de setup dependentes da sequência. *Gestão & Produção*. 17(2), p. 367–375. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2010000200011>

- Noreen, E., Smith, D. & Mackey J. (1997). *La teoría de las limitaciones y sus consecuencias para la contabilidad de gestión*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos. p. 171.
- Okutmuş, E., Kahveci, A. & Kartašova, J. (2015). Using theory of constraints for reaching optimal product mix: an application in the furniture sector. *Intellectual Economics*, 9(2), p. 138–149. Recovered from: <  
<https://repository.mruni.eu/bitstream/handle/007/14739/4416-9778-1-SM.pdf?sequence=1>>
- Ortiz, V. & Caicedo, A. (2014). Mezcla óptima de producción desde el enfoque gerencial de la contabilidad del throughput: el caso de una pequeña empresa de calzado. *Cuadernos de contabilidad*, 15(37), p. 109–133. Recuperado de <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuacont/article/view/9004>
- Ortiz, V. & Caicedo, A. (2012). Plan óptimo de producción en una planta embotelladora de gaseosas. *Revista Ingeniería Industrial*, 11(1), p. 69–82. Recuperado de: <  
<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/36>>
- Queiroz, J. & Rentes, A. (2010). Contabilidade de custos vs. contabilidade de ganhos: respostas às exigências da produção enxuta. *Gestão e Produção*, (17), p. 377–388. Recuperado de: <  
<http://www.scielo.br/pdf/gp/v17n2/a12v17n2> >
- Rojas, M. (2012). Utilización de heurísticas para programar Job Shops. En E. Said (Ed.), *Diálogos y desafíos euro-latinoamericanos: ensayos sobre cooperación, derecho, educación y comunicación*, p.328–346. Barranquilla, Colombia: Editorial Universidad del Norte.
- Şimşit, Z. T., Günay, N. S. & Vayvay, Ö. (2014). Theory of constraints: A literature review. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 150, p. 930–936. DOI 10.1016/j.sbspro.2014.09.104
- Sinisgalli, E., Urbina, L. & Alves, J. (2009). O custeio ABC e a contabilidade de ganhos na definição do mix de produção de uma metalúrgica. *Production*, 19(2), p. 332–344. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132009000200009>.
- Sipper, D. & Bulfin, R. (1998). *Planeación y control de la producción*. México D.C., México: McGraw Hill. p. 658.
- Souren, R., Ahn, H. & Schmitz, C. (2005). Optimal product mix decisions based on the Theory of Constraints? Exposing rarely emphasized premises of throughput accounting. *International Journal of Production Research*, 43(2), p. 361–374. DOI: 10.1080/0020754042000273040