

Integración del sistema de Costeo ABC (Activity Based Costing) con la Teoría de las Restricciones (TOC) en un almacén de productos metalúrgicos

Berardi, María B.¹, Zárate, Claudia², Esteban, Alejandra³, Mortara, Verónica⁴,
Corres, Guillermo⁵

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata
Juan B. Justo 4302. 7600 Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

¹ bberardi@fi.mdp.edu.ar; ² cnzarate@fi.mdp.edu.ar; ³ aesteban@fi.mdp.edu.ar;
⁴ vmortara@fi.mdp.edu.ar

⁵ Departamento de Administración, Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional del Centro
corres@econ.unicen.edu.ar

RESUMEN

El Sistema de costeo ABC y la Teoría de las Restricciones (TOC) representan abordajes alternativos que permiten superar las limitaciones de los sistemas tradicionales de costo. Ambos enfoques tienen un punto en común: el reconocimiento de que la utilización de la mano de obra directa como factor clave en la asignación de costos indirectos es inadecuada en los entornos industriales actuales. En los sistemas productivos tradicionales, la mayor parte de los costos empresariales eran directos; en los últimos años el aumento de la mecanización y de la informatización de los procesos ha provocado que los costos directos hayan pasado a ser, en muchos casos, una proporción pequeña respecto a los costos totales. El sistema ABC utiliza las actividades como base para realizar la asignación de recursos utilizando generadores de costos o *cost drivers*. Esto permite al ABC proporcionar información precisa del costo del producto para evaluar luego la rentabilidad. La Teoría de las restricciones fue desarrollada por Goldratt como un proceso de mejora continua. El objetivo de TOC es maximizar la meta de una organización que está limitada por restricciones. El sistema es gestionado con respecto a las restricciones o cuello de botella mientras que los recursos se gastan para aliviar esta limitación en el sistema. En el presente trabajo se utiliza el modelo de Programación Lineal Entera a efectos de reflejar las restricciones presentes en el sistema productivo de un almacén de productos metalúrgicos. El modelo resultante muestra la interacción entre el costo, las restricciones y la capacidad de las actividades de producción. La solución del modelo de Programación Lineal Entera proporciona el mix óptimo de productos sujeto a la capacidad de las actividades individuales comprendidas en la estructura de la empresa en estudio [1].

Palabras Claves: Costos ABC, Teoría de las Restricciones, Programación entera mixta.

ABSTRACT

The ABC Costing System and the Theory of Constraints (TOC) represent alternative approaches that overcome the limitations of traditional cost systems. Both approaches, have a common point: the recognition that the use of direct labor as a key factor in the allocation of indirect costs is inadequate in today's industrial environments. In traditional production systems, most business costs were direct; in recent years the increased mechanization and computerization process have caused direct costs that have become, in many cases, a small proportion to total costs. The ABC system uses activities as a basis for resource allocation using generators cost or cost drivers. This allows ABC to provide accurate product cost and then assess the profitability information. The Theory of Constraints was developed by Goldratt as a process of continuous improvement. The objective of TOC to maximize the goal of an organization is limited by restrictions. The system is managed with regard to restrictions or bottleneck while resources are spent to alleviate this limitation in the system. Incorporating restrictions shows the relationship between the cost, physical resources and capacity production activities. In this paper the mixed integer programming model to reflect the effects of these restrictions on the production system of a metallurgical products store. The resulting model captures the interaction between the cost, physical resources, and capacity of production activities. The solution to the mixed-integer programming model gives the optimal-production mix subject to the capacity of the individual activities comprising the firm's production structure.

ÁREA TEMÁTICA: Gestión de Operaciones y Logística

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se desarrolla en el marco de un proyecto que incluye la aplicación de técnicas tendientes a la mejora de los indicadores de la gestión de una empresa comercializadora de productos metalúrgicos de la zona, comprendida dentro de la clasificación de PyME.

La empresa distribuye alrededor de 40 tipos de productos, entre los que se cuentan caños de diferente diámetro y largo, chapas de diversos tipos y tamaños y artículos derivados de la industria metalúrgica que se utilizan en la industria de la construcción, pesquera y otras industrias de la zona. Posee alrededor de 20 personas entre operarios de planta y administrativos y un depósito de aproximadamente de 1300 metros cuadrados los cuales están destinados -prácticamente en su totalidad- a las actividades de almacenamiento de los productos.

Los procesos que se desarrollan en la misma, involucran:

1. la recepción y descarga de los materiales que ingresan al depósito- provenientes del mercado de los proveedores-;
2. el empaque y estacionamiento de los lotes de productos y
3. el despacho hacia el mercado de los clientes.

Por tratarse de una pequeña empresa de carácter familiar las herramientas de gestión que utiliza, propias de este tipo de empresa, si bien suelen dar buenos resultados en el corto plazo, adolecen respecto de su alta dependencia de las personas que las aplican.

Es en este sentido que se intenta implementar diversas técnicas relacionadas a la gestión de la organización, a fin de dar un respaldo consistente a las decisiones que se tomen.

En un trabajo previamente publicado [2] se calcularon los costos de producción de esta empresa, utilizando la técnica ABC.

El objetivo de este trabajo es, a partir de los mencionados resultados hallados, analizar cómo los principios de ABC y de la Teoría de las Restricciones (TOC) pueden ser usados en un modelo común para determinar la mezcla óptima de la producción

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de costeo basado en Actividades (ABC)

El Modelo ABC difiere de los métodos tradicionales de costos en dos aspectos: primero, asigna los costos indirectos por medio de *cost drivers* en función de los recursos que las actividades de la organización consumen. En segundo lugar, ABC asigna los costos indirectos de acuerdo al nivel en que se producen los costos. Por ejemplo, muchos costos indirectos se incurren por lotes. Entonces, el uso de varios inductores de costos permite a ABC establecer mejor la relación entre los recursos utilizados en las actividades de producción y los productos.

Sin embargo, ABC ha sido criticado porque no identifica ni elimina las restricciones que conducen a excesos y variaciones en los procesos de producción. Eliminar restricciones puede ser el primer paso para que una empresa reduzca sus costos y aumente su competitividad.

Cooper y Kaplan (1992) señalan que ABC mide el uso de los recursos con respecto a la demanda de una actividad de producción. Si la demanda de una actividad es menor que el nivel de servicio provisto, ABC asigna el costo de estos recursos en exceso como "capacidad no utilizada". El exceso de capacidad de producción es determinado, en parte, por una restricción o cuello de botella que restringe la producción limitando el uso de recursos usados en actividades no restringidas. Una restricción juega un papel importante al permitir comprender por qué existe capacidad no utilizada en una empresa. Por ejemplo, una restricción representa una actividad donde pueden agregarse recursos para expandir la producción y usar el exceso de capacidad de una actividad no restringida. Por otra parte, en una decisión de reducir recursos un cuello de botella puede usarse para determinar el nivel de capacidad no utilizada que puede eliminarse sin impacto en la producción. En consecuencia, identificar una restricción y comprender su impacto en las oportunidades de producción de una empresa puede resultar crucial en la asignación de recursos usando ABC para maximizar su rentabilidad.[3]

2.2 Teoría de las Restricciones (TOC)

Fue desarrollada por Goldratt [4] como un proceso de mejora continua. El objetivo de TOC es maximizar la meta de una organización que está limitada por restricciones. El sistema se gestiona con respecto a las restricciones o cuellos de botella mientras que se gastan recursos para aliviar esas limitaciones en el sistema. Cuando la restricción se elimina, la empresa se mueve a un nivel más alto en la consecución de sus objetivos, una nueva restricción aparece y el ciclo de gestión se repite.

TOC reconoce la interdependencia natural de las actividades de producción y cómo la actividad más limitada controla el sistema más grande. Se implementa a través de tres mediciones:

1. el rendimiento (*throughput*): velocidad a la que el sistema genera dinero a través de las ventas;
2. inventario: todo el dinero que el sistema invierte en la compra de artículos que el sistema tiene la intención de vender y

3. gastos de operación: todo el dinero que el sistema gasta en convertir el inventario en rendimiento (Goldratt y Fox 1986, 29).

Para TOC, el costo de materia prima es tratado como un costo variable, mientras que el costo de mano de obra directa y el resto de los costos son tratados como fijos. El objetivo de TOC es maximizar el rendimiento sujeto a la capacidad de las actividades individuales de producción de una empresa.[5]

Sin embargo se ha criticado la aplicación de TOC por considerarla una forma extrema de los métodos directos de costeo o de contribución marginal. La contribución marginal en su forma tradicional o en TOC es criticada por su enfoque de corto plazo. Si bien TOC asume un horizonte de decisiones de corto plazo, aun en éste muchas decisiones involucran compensaciones entre incremento en el rendimiento, inventario, y gastos de operación. Por lo tanto, usar la maximización del rendimiento como criterio de decisión puede conducir a decisiones subóptimas en algunas circunstancias. Para las decisiones en el mediano y largo plazo, donde las decisiones de *management* tienen fuerza discrecional sobre MO y gastos generales las medidas operacionales globales de TOC ignoran factores relevantes de los procesos de decisión.[6]

2.3. Aspectos complementarios del modelo ABC y el modelo TOC

ABC y TOC modelan aspectos diferentes de la estructura de producción de una empresa. ABC modela aspectos económicos de cómo los recursos son transformados a través de las actividades de la empresa. Representa entonces, una perspectiva de largo plazo de cómo los costos varían con la producción.

TOC refleja cómo los recursos físicos consumidos por las actividades de producción y su capacidad juegan un rol crítico en los procesos de producción. Las medidas globales de operación usadas por el método, reflejan un enfoque de costeo directo en la toma de decisiones. A diferencia de ABC, TOC representa una perspectiva de corto plazo en la relación entre un cambio en los costos y la producción. Una de las limitaciones de ABC es su incapacidad para reflejar explícitamente el uso de recursos físicos por parte de las actividades de producción y la capacidad de estas actividades. [7]

ABC incorpora los recursos físicos y la capacidad indirectamente a través del costo de un producto. El costo de una actividad se divide por una medida de su capacidad práctica para computar un *cost driver*. En un horizonte de tiempo corto o mediano la capacidad de una actividad de producción es fija porque la empresa puede tener problemas para agregar o quitar capacidad. En consecuencia, la capacidad de una actividad de producción representa una potencial restricción en las oportunidades de producción de la firma. Sin embargo, las tasas de asignación de costos, utilizando ABC fallan al reflejar esta limitación. En el largo plazo la capacidad de las actividades de producción no están restringidas. La firma puede agregar o quitar capacidad como necesite. Sin embargo, incluso entonces, las tasas de costos se basan en niveles específicos de capacidad de producción. Integrar ABC con los niveles de capacidad que se utilizan para calcular las tasas de costos puede ser útil para la comprensión de las oportunidades de producción inherentes a las tasas de costo y evaluando si estos niveles de capacidad son óptimos para la empresa.

La incapacidad de incorporar medidas en el uso de recursos físicos y la capacidad de producción de las actividades fomenta una incapacidad para identificar las limitaciones y predecir su efecto sobre la empresa como ha sido señalado por Johnson (1992, 32). Por el contrario TOC se basa en gran parte en la gestión de las limitaciones de producción. Alternativamente, ABC ofrece un marco integral para modelar los atributos económicos del proceso de producción. De este modo se proporciona a los managers un modo de predecir las consecuencias económicas de las decisiones alternativas de asignación de recursos.

Muchos de los aspectos conceptuales de ABC y TOC pueden integrarse en un modelo más amplio que relacione simultáneamente los costos y los atributos físicos de la estructura de producción de una firma.

Este objetivo puede ser cumplido ampliando el marco del modelo ABC para incorporar los recursos usados en los productos individuales y la capacidad de los procesos empleados en su producción. Sin embargo el costo de los recursos físicos usados en las actividades de producción debe ser modelado a nivel al cual la actividad contribuya al proceso de producción. Los recursos usados en actividades a nivel de unidad de producto varían proporcionalmente con la producción y pueden ser representados con una relación lineal. Las actividades por lotes usan los recursos en cantidades discretas en intervalos periódicos a medida que la producción aumenta. En consecuencia deben ser modelados con una función escalón (*step function*) que refleje la no linealidad de cómo son consumidos esos recursos.[8]

2.4. Una teoría para integrar restricciones en el modelo ABC

El modelo de Programación Lineal Entera puede usarse para representar costos y recursos como variables continuas mientras que las actividades por lotes pueden representarse como variables discretas. El modelo resultante captura la interacción entre los costos, recursos físicos, y la

capacidad de las actividades de producción. Se permite de este modo que muchos de los principios de los modelos ABC y TOC puedan ser implementados dentro de un marco común. La solución del modelo de Programación Lineal Entera da el mix óptimo de producción sujeto a la capacidad de las actividades individuales comprendidas en la estructura de producción de la empresa. La solución identifica las actividades no restringidas y sus recursos en exceso. Estos son los recursos que según Cooper y Kaplan (1992) puede resultar en exceso de gasto. Sin embargo, la identificación de estas actividades previas a la producción real pueden ayudar a la administración en la reasignación de estos recursos a otros usos. La solución al modelo de Programación Lineal Entera también puede ser utilizada para identificar la restricción que limita producción y conduce a exceso de gasto. La identificación de las restricciones proporciona un punto de partida para la aplicación de los principios de Goldratt (1990) para la gestión de los cuellos de botella de producción. [8]

3. METODOLOGÍA

En el desarrollo de este trabajo se utilizaran los resultados hallados en un trabajo previamente publicado [2]. En el mismo se obtuvieron los costos de producción unitarios siguiendo la metodología ABC para los principales productos que maneja la empresa que se analiza, que se denominaron X1, X2, X3 y X4. Del mismo trabajo se obtienen los datos de costos utilizados para la aplicación de la Teoría de las Restricciones.

La mezcla de producción se obtiene aplicando la técnica de Programación Lineal Entera, utilizando software WINQSB. WinQSB es un sistema interactivo de ayuda a la toma de decisiones que contiene herramientas muy útiles para resolver distintos tipos de problemas en el campo de la investigación operativa. El sistema está formado por distintos módulos, uno para cada tipo de modelo o problema. En el presente trabajo se utiliza el módulo: *integer linear programming* (ILP): que incluye los programas necesarios para resolver los problemas de programación lineal entera utilizando el procedimiento de Ramificación y Acotación (*Branch&Bound*).

4. DESARROLLO

Beneficio Unitario según modelo ABC o TOC

Para el cálculo de los costos siguiendo la metodología ABC, en función de cómo los productos usan recursos de manera directa o por lotes, sus costos son convertidos en un costo unitario equivalente.

1. Los costos de Materia Prima (MP) y de Mano de Obra (MO) se asignan a los productos individuales. Cabe aclarar que dado el tipo de actividad que se desarrolla en la empresa, los costos de MP son los costos de compra del producto.

El resto de los costos variables fueron estimados usando MO directa como *cost driver*.

2. Los costos de la operación de descarga se asignan en forma directa a cada producto, los costos de empaque y despacho se asignan por lotes.

El costo de descarga es un costo directo, por lo tanto se lo calculó dividiendo el costo total de la actividad (9187,92 \$/mes) entre las 80 horas disponibles para esta tarea y ese valor fue multiplicado por el tiempo necesario de descarga (en horas) para cada producto.

3. Los costos de Empaque y de Despacho fueron estimados por lotes y a partir del tamaño de los mismos para cada tipo de producto se convirtió en un costo unitario:

Se espera disponer de 160 horas para la actividad Empaque, incurriéndose en un costo para esta actividad de 5506,306 \$/mes. Los costos de Empaque son entonces de 34,414 \$/hora. Un lote del producto X₁ de 15 unidades requiere 0,333 hora de Empaque. Por lo tanto el costo de Empaque para una unidad de X₁ es de 0.764 \$/u.

Los costos de Despacho fueron convertidos a partir de los costos por lotes a costos unitarios de manera similar.

En Tabla 1 se presentan los resultados de calcular los costos siguiendo la metodología ABC.

Tabla 1 Asignación de costos mediante el Modelo ABC

COSTO DE LAS ACTIVIDADES				
ACTIVIDAD DE DESCARGA				
Descarga (\$/mes)	9187			
horas descarga/mes	80			
Costo por hora de descarga(\$/h)	114,844			
ACTIVIDAD DE EMPAQUE				
Empaque y Est (\$/mes)	5506			
horas de Em x mes (h/mes)	160			
Costo de Emp x hora (\$/ h)	34,414			
ACTIVIDAD DE DESPACHO				
Despacho (\$/mes)	19223			
horas de despacho x mes (h/mes)	32			
Costo de despacho x hora (\$/h)	600,688			
	X1	X2	X3	X4
tiempo de descarga (h/u)	0,0333	0,0278	0,0125	0,0069
costo descarga/unidad (\$/u)	3,824	3,193	1,436	0,792
unidades / lote EMPAQUE	15	6	20	39
tiempo de empaque (h/lote)	0,1166	0,15	0,1	0,233
tiempo de empaque x unidad (h/u)	0,333	0,5	0,333	0,75
costo de empaque/unidad (\$/u)	0,764	2,868	0,573	0,662
unidades x lote despacho	45	12	80	78
lotes de empaque x despacho	3	2	4	2
tiempo lote de despacho (h/lote)	0,4	0,4	0,466	0,166
tiempo de despacho x u (hD/u)	0,0089	0,0333	0,0058	0,0021
costo de despacho/unidad (\$/u)	5,3394	20,0229	3,4990	1,2784

En la Tabla 2 se presenta el beneficio esperado según el sistema de costeo utilizado

La contribución de cada producto se calculó, para el Modelo ABC como el Precio de Venta restando MP, MO y otros costos variables.

Para el modelo TOC, dicha contribución es sencillamente el Precio de venta menos el costo de compra o costo de MP.

Tabla 2 Costos, precios, beneficio y demanda esperada

	PRODUCTOS			
	X1	X2	X3	X4
t descarga /unidad (h/u)	0,0333	0,0278	0,0125	0,0069
MP (\$/u)	102	120	26	21
MO (\$/u)	3,84	7,15	2,33	1,21
Otros CV (\$/u)	11,52	21,45	6,99	3,63
Costo descarga (\$/u)	3,824	3,193	1,436	0,792
TOTAL	121,18	151,79	36,76	26,63
PRECIO DE VENTA	204	240	52	42
BENEFICIO UNITARIO ABC	82,82	88,21	15,24	15,37
BENEFICIO UNITARIO TOC	102	120	26	21
Costos por lote				
Actividad EMPAQUE (E)				
Costo total esperado (\$/Mes)	5506,306			
Capacidad disponible (He/mes)	160			
Costo Empaque/H (\$/He)	34,414			
Tiempo empaque/lote (H/lote)	0,333	0,5	0,333	0,75
Costo empaque/lote (\$/lote)	11,46	17,267	11,46	25,811
Actividad DESPACHO (D)				
Costo total esperado (\$/Mes)	19222,016			
Capacidad disponible (Hd/mes)	32			
Costo Despacho (/H (\$/Hd)	600,688			
Tiempo despacho/lote Hd/L))	0,4	0,4	0,466	0,166
Costo Despacho /lote (\$/lote)	240,275	240,275	279,921	99,714
Demanda Mensual Esperada	1000	650	1500	1478

4.2 Aplicación de la técnica de Programación Lineal. Modelo ABC

La programación lineal entera puede ser usada integrando los datos del modelo ABC con el uso de los recursos físicos y sus capacidades productivas.

Las ecuaciones de Programación Lineal Entera para modelar la programación de producción de la Tabla 2 se listan en la Tabla 3.

La Ecuación 1 o función objetivo refleja la meta que maximiza el beneficio (Z) que debe ser logrado para la producción de las distintas mezclas de productos.

$$Z(\text{ABC}) : \text{Función Objetivo} = \text{Max}(\sum z_i X_i - \sum e_i E_i - \sum d_i D_i) \quad (1)$$

Donde:

X_i = unidades de producto i , $X \geq 0$, $i = 1, \dots, 4$

z_i = beneficio unitario del producto X_i

e_i = Costo de lote de empaque para X_i

E_i = N° de lotes de empaque para X_i

d_i = Costo de lote de despacho para X_i

D_i = N° de lotes de despacho para X_i

A partir de los costos calculados en Tabla 2, se puede ingresar las ecuaciones en el sistema de programación lineal.

Variable ->	X1	X2	X3	X4	EX1	EX2	EX3	EX4	DespX1	DespX2	DespX3	DespX4	Direction	R. H. S.
Maximize	82.82	88.21	15.24	15.37	-11.46	-17.207	-11.46	-25.811	-240.28	-240.28	-279.92	-99.71		
h Descarga	0.033	0.0278	0.0125	0.0069									<=	80
Emp X1	1				-15								<=	0
Emp X2		1				-6							<=	0
Emp X3			1				-20						<=	0
Emp X4				1				-39					<=	0
h emp					0.33	0.5	0.33	0.75					<=	160
Desp X1	1								-45				<=	0
Desp X2		1								-12			<=	0
Desp X3			1								-80		<=	0
Desp X4				1								-78	<=	0
h Desp									0.4	0.4	0.466	0.166	<=	32
Demanda X1	1												<=	1000
Demanda X2		1											<=	650
Demanda X3			1										<=	1500
Demanda X4				1									<=	1478
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

R1= uso de los recursos en la actividad de Descarga medidos en horas de MO directa.
R2 a R5 = actividades de Empaque usadas en producción, por lotes (Por ej. la restricción 3 computa el numero de Empaque (E1) para el producto X1 donde el numero de Empaque está restringido a un valor entero.
R6 = horas de la actividad Empaque por producto
R7 a R10 = comportamiento a nivel lotes de la actividad Despacho.
R11= horas de la actividad Despacho por producto
R12 a R15= máxima demanda esperada para cada producto de la empresa.

4.3 Aplicación de la técnica de Programación Lineal. Modelo TOC

La mezcla de productos seleccionado por TOC se basa en la maximización del *throughput*. Operacionalmente el rendimiento se define como el precio de un producto menos su costo de material directo. Mano de obra directa y los otros costos variables se tratan como gastos fijos de operación, por tanto son irrelevantes para decidir la mezcla óptima. La función objetivo a maximizar será entonces en este caso,

$$Z (\text{TOC})= 102 X_1 + 120 X_2 + 26 X_3 + 21 X_4 \quad (2)$$

El modelo a ingresar para su resolución por programación lineal será:

Variable ->	X1	X2	X3	X4	EX1	EX2	EX3	EX4	DespX1	DespX2	DespX3	DespX4	Direction	R. H. S.
Maximize	102.0	120.0	26.0	21.0										
h Descarga	0.033	0.0278	0.0125	0.0069									<=	80
Emp X1	1				-15								<=	0
Emp X2		1				-6							<=	0
Emp X3			1				-20						<=	0
Emp X4				1				-39					<=	0
h emp					0.33	0.5	0.33	0.75					<=	160
Desp X1	1								-45				<=	0
Desp X2		1								-12			<=	0
Desp X3			1								-80		<=	0
Desp X4				1								-78	<=	0
h Desp									0.4	0.4	0.466	0.166	<=	32
Demanda X1	1												<=	1000
Demanda X2		1											<=	650
Demanda X3			1										<=	1500
Demanda X4				1									<=	1478
LowerBound	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
UpperBound	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
VariableType	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer	Integer		

5. RESULTADOS

5.1 Modelo ABC

La solución del problema de Programación Lineal Entera para el modelo ABC se muestra en las Tablas 4 y 5

Tabla 4 Variables solución MODELO ABC

	16:12:51		Thursday	September	04	2014		
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	1.000,0000	82,8200	82.820,0000	0	basic	23,5219	M
2	X2	598,9687	88,2100	52.835,0300	0	basic	86,7996	233,2382
3	X3	0	15,2400	0	0	basic	0,5730	15,4865
4	X4	1.478,0000	15,3700	22.716,8600	0	basic	6,1105	M
5	EX1	66,6667	-11,4600	-764,0000	0	basic	-900,9313	0
6	EX2	99,8281	-17,2070	-1.717,7420	0	basic	-25,6694	0
7	EX3	0	-11,4600	0	0	basic	-304,8000	-6,5307
8	EX4	37,8974	-25,8110	-978,1707	0	basic	-386,9311	0
9	DespX1	22,2222	-240,2800	-5.339,5550	0	basic	-2.908,6940	783,8259
10	DespX2	49,9141	-240,2800	-11.993,3500	0	basic	-257,2047	1.500,0580
11	DespX3	0	-279,9200	0	-19,7173	at bound	-M	-260,2027
12	DespX4	18,9487	-99,7100	-1.889,3770	0	basic	-821,9503	325,2878
	Objective	Function	(Max.) =	135.689,7000				

Tabla 5 Variables de holgura MODELO ABC

	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	h Descarga	59,8495	<=	80,0000	20,1505	0	59,8495	M
2	Emp X1	0,0000	<=	0	0	0,7640	-2.711,9480	1.000,0000
3	Emp X2	0,0000	<=	0	0	2,8678	-715,9543	598,9687
4	Emp X3	0	<=	0	0	0,5730	-3.615,9310	0
5	Emp X4	0,0001	<=	0	0	0,6618	-3.102,4690	1.478,0000
6	h emp	100,3371	<=	160,0000	59,6629	0	100,3371	M
7	Desp X1	0,0000	<=	0	0	22,7579	-2.246,1330	191,3673
8	Desp X2	0,0000	<=	0	0	85,3422	-598,9687	51,0313
9	Desp X3	0	<=	0	0	14,6670	0	1.500,0000
10	Desp X4	0,0001	<=	0	0	5,4487	-9.381,4390	799,2853
11	h Desp	32,0000	<=	32,0000	0	1.959,5650	12,0344	33,7010
12	Demanda X1	1.000,0000	<=	1.000,0000	0	59,2981	808,6327	1.787,5380
13	Demanda X2	598,9687	<=	650,0000	51,0313	0	598,9687	M
14	Demanda X3	0	<=	1.500,0000	1.500,0000	0	0	M
15	Demanda X4	1.478,0000	<=	1.478,0000	0	9,2595	678,7147	5.409,7400

Las "variables solución" dan la mezcla de productos que maximizan el beneficio de la función objetivo.

La R11 es el cuello de botella del sistema, esto significa que las horas de despacho restringen la producción.

Por otra parte, las "variables de holgura" miden el exceso de capacidad de las actividades no restringidas en la estructura de producción de la empresa que en este caso son las R1 y R6.

El beneficio total originado por la mezcla resultante es de \$ 135689,70

5.2 Modelo TOC

La solución del problema de Programación Lineal Entera para el modelo TOC se presenta en las Tablas 6 y 7

Tabla 6 Variables solución MODELO TOC

	16:25:47		Thursday	September	04	2014		
1	X1	1.000,0000	102,0000	102.000,0000	0	basic	32,0000	M
2	X2	336,8437	120,0000	40.421,2500	0	basic	0	148,7840
3	X3	1.500,0000	26,0000	39.000,0000	0	basic	20,9700	M
4	X4	1.478,0000	21,0000	31.038,0000	0	basic	7,6615	M
5	EX1	66,6667	0	0	0	basic	-1.050,0000	0
6	EX2	56,1406	0	0	0	basic	-720,0000	0
7	EX3	75,0000	0	0	0	basic	-100,6000	0
8	EX4	37,8974	0	0	0	basic	-520,2000	0
9	DespX1	22,2222	0	0	0	basic	-3.150,0000	1.440,0000
10	DespX2	28,0703	0	0	0	basic	-1.440,0000	345,4078
11	DespX3	18,7500	0	0	0	basic	-402,4001	1.677,6000
12	DespX4	18,9487	0	0	0	basic	-1.040,4000	597,6000
	Objective	Function	(Max.) =	212.459,3000	(Note:	Alternate	Solution	Exists!!)

Tabla 7 Variables de holgura MODELO TOC

	Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	h Descarga	71,3125	<=	80,0000	8,6875	0	71,3125	M
2	Emp X1	0,0000	<=	0	0	0	-2.579,8460	1.000,0000
3	Emp X2	0,0000	<=	0	0	0	-681,0793	336,8437
4	Emp X3	0	<=	0	0	0	-3.439,7940	1.500,0000
5	Emp X4	0,0001	<=	0	0	0	-2.951,3440	1.478,0000
6	h emp	103,2434	<=	160,0000	56,7566	0	103,2434	M
7	Desp X1	0,0000	<=	0	0	32,0000	-1.263,1640	1.000,0000
8	Desp X2	0,0000	<=	0	0	120,0000	-336,8437	312,5016
9	Desp X3	0	<=	0	0	20,9700	-1.927,5750	1.500,0000
10	Desp X4	0,0001	<=	0	0	7,6615	-5.275,8660	1.478,0000
11	h Desp	32,0000	<=	32,0000	0	3.600,0000	20,7719	42,4167
12	Demanda X1	1.000,0000	<=	1.000,0000	0	70,0000	0	1.339,5340
13	Demanda X2	336,8437	<=	650,0000	313,1563	0	336,8437	M
14	Demanda X3	1.500,0000	<=	1.500,0000	0	5,0300	0	2.636,8230
15	Demanda X4	1.478,0000	<=	1.478,0000	0	13,3385	0	3.173,1050

Al beneficio obtenido por la mezcla producto del modelo TOC es necesario restar el resto de los costos, lo que indica que el beneficio es $\$212459,3 - 80494,7 = 131964,2\$$ lo que implica alrededor de 3% menor que en el caso del Modelo ABC.

La mezcla que optimiza el beneficio ha variado en forma importante, respecto del modelo ABC. De acuerdo a este modelo, el producto X3 se produce en su totalidad, mientras que la optimización del modelo ABC indica que dicho producto no forma parte de la mezcla.

En este caso, la R11, horas de despacho disponible, sigue siendo el cuello de botella del sistema al igual que el modelo ABC.

No obstante, la mezcla que optimiza el beneficio cambió y se observa una mejora en el uso de los recursos disponibles.

La diferencia en el beneficio con TOC y ABC es el resultado de qué costos se consideran relevantes para decidir la mezcla óptima de productos. TOC asume que todos los recursos que no son materia prima directa son irrelevantes (porque hay que incurrir en ellos si o si). Por el contrario ABC asume que todos los costos son relevantes para comprender el costo de los recursos usados en las actividades de producción de la empresa. Basado en estas suposiciones TOC selecciona los productos hasta el punto que el ingreso marginal de la última unidad producida es igual al costo de materia prima utilizada, mientras que el modelo ABC selecciona los productos

hasta el punto que el ingreso marginal procedente de la última unidad producida es igual al costo marginal de los recursos utilizados en su fabricación.

6. CONCLUSION

El modelo ABC y el modelo TOC proponen modelos de planificación para obtener una mezcla de productos y decisiones de asignación de recursos. La identificación de la mezcla óptima, el máximo ingreso potencialmente disponible para la firma, y el exceso de recursos son cruciales para la comprensión de las oportunidades y los problemas que enfrenta la empresa en el desarrollo de su estrategia de producto.

La identificación y la planificación de cómo pueden ser usados los recursos en exceso en actividades más productivas es un aspecto esencial del desarrollo de una estrategia de mezcla de producto óptima. En los casos donde los recursos excedentes de la mezcla de producto óptima no pueden reasignarse o la gestión de la empresa decide no asignar dichos recursos, los coeficientes del conjunto de ecuaciones de programación lineal entera utilizadas en el modelo de ingresos de la empresa, el costo, y la estructura de la producción se puede ajustar para evaluar las oportunidades de producción a disposición de la empresa dada la comprometida naturaleza de sus recursos.

7. REFERENCIAS

- [1] Santandreu, E.; Santandreu P. (1995). *Cálculo de costes con el método ABC*. Primera Edición. Gestión 2000. Barcelona.
- [2] Berardi, M.B, Zárate C, Esteban A, Mortara V, Corres G. “Comparación entre el cálculo tradicional de Costos y el Método de Costeo ABC (Activity Based Costing) en un almacén de productos metalúrgicos”. *VI Congreso de Ingeniería Industrial COINI 2013*.
- [3] Ballou Ronald (2004). *Logística, Administración de la Cadena de Suministro*. México. Quinta Edición. Capítulos 1 y 8. Editorial Prentice Hall. México
- [4] Goldratt, E.M., (1990). *Theory of Constraints*. North River Press. Croton-on-Hudson. New York. USA.
- [5] Muñoz, M.A., Ruiz-Usano, R. y Crespo, A “Aspectos contables de la planificación de la producción: visión general y estado de la cuestión”. *IV Congreso de Ingeniería de Organización Sevilla*
- [6] Gaudino, Ovidio. “Teoría de las Restricciones (TOC) y Costeo Basado en Actividades (ABC). Confrontamiento o posible integración? *VI Congreso Internacional de costos*. Braga, Portugal - Bariloche, Argentina – 15 al 17 de setiembre de 1999
- [7] F Zari, A Fabiola. Impacto en la aplicación de costos Toc vs. Los métodos tradicionales de costeo, caso Plasmade SA.- 2010 - dspace.ucuenca.edu.ec
- [8] Kee, R., (1995), "Integrating activity-based costing with the theory of constraints to enhance production related decision making", *Accounting Horizons*, December, Vol. 9, Issue 4, pp. 48-61.