DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA DE PRODUCTOS PARA UNA TEJEDURÍA TEXTIL

Optimal Product Mix Determination for a Textile Fabric Factory

JAIME ANTERO ARANGO MARÍN
Ingeniero Industrial
Profesor Asociado
Universidad Nacional de Colombia
jaarangom@unal.edu.co
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
jaimeantero@utp.edu.co

RESUMEN
Este documento estudia el problema del *product-mix* en una tejeduría textil. Sobre un modelo general, se definen coeficientes para la producción de textiles llegando a un modelo lineal entero, resuelto por un algoritmo híbrido con solución inicial por método simplex y obtención de la solución entera por un algoritmo genético. Se concluye que deben considerarse restricciones de capacidad, mercado e insumos, que el modelo es linear entero y que el algoritmo propuesto logra soluciones de alta calidad a bajo costo computacional. Futuros trabajos deben explorar otras técnicas de solución y el *product-mix* textil según la teoría de restricciones (TOC)

PALABRAS CLAVES: Análisis combinatorial, Heurísticas, Optimización, Programación Entera, Programación Lineal.

ABSTRACT
This paper studies the product-mix problem in a textile fabric factory. Starting off of the general model, the coefficients for the textile production are defined and it is arrived at an integer linear model, solved by a hybrid algorithm with initial solution by simplex method and obtaining the integer solution by a genetic algorithm. The conclusions are that restrictions of capacity, market and raw materials are due to consider, that the model is integer linear and that the proposed algorithm obtains solutions of high quality at low computing cost. Future works must explore other techniques of solution and textile product-mix according to the theory of restrictions (TOC)

KEYWORDS: *Combinational analysis, Heuristics, Integer programming, LP, Optimization*

1. INTRODUCCIÓN

En condiciones de alta demanda y capacidad de producción limitada las empresas deben utilizar sus recursos productivos buscando la mayor rentabilidad. El problema de la mezcla de productos (product mix) es la representación matemática de esa problemática.

La formulación básica del problema del "product mix" como LP (problema de programación lineal) fue estudiada por Byrd & Moore [1] (1978), reconociendo los tres tipos de restricciones (capacidad, insumos y demanda). Goldratt (1990) propuso una heurística para la mezcla óptima de productos conocida como TOCh, basada en su teoría de las restricciones (TOC). En ese algoritmo se basaron otros investigadores (Fredendall & Lea [2] 1997; Lee & Plenert [3], 1993), llegando a una discusión académica respecto a la capacidad de TOCh en comparación con modelos LP o ILP (Lea & Fredendall [4] 2002; Mabin & Davies [5], 2003; Aryanezhad & Komijan [6], 2004; Souren, Ahn & Schmitz [7], 2005). Los enfoques de la mezcla de productos desde el punto de vista de la teoría de restricciones (TOC) sólo consideran restricciones de capacidad.

Fecha de Recepción: 8 de junio de 2009
Fecha de Aceptación: 28 de Agosto de 2009

Lee & Plenert [3] (1993) estudiaron de programación lineal entera (ILP) para el product mix con el enfoque de la Teoría de Restricciones (TOC). Bassin [8] (1990) modeló un caso de marcas de televisores en términos de la programación no lineal (NLP).

Hodges & Moore [9] (1970); Reeves & Sweigard [10] (1981); Kasilingam [11] (1995); Vasant [12] (2004); Bhattacharya & Vasant [13] (2007); Suharto et al. [14] (2008) y Hasuike & Ishii [15] [16] [17] (2008-2009) investigaron en formulaciones del problema de la mezcla de productos cuando hay aleatoriedad, componentes difusos o incertidumbre.

En cuanto a la aplicación de metaheurísticas, Onwubolu [18] (2001) propuso un algoritmo basado en la búsqueda tabú; Mishra, Prakash, Tiwari, Shankar, & Chan [19] (2005) presentaron un algoritmo híbrido de búsqueda tabú y recocido simulado; Onwubolu & Mutingi [20] (2001) desarrollaron un algoritmo genético. Estos trabajos abordaron el problema a partir de la teoría de restricciones (TOC), Daniel, Abraham y Juan Gamarra [21] (2004) emplearon el algoritmo genético "genocop" propuesto por Michaelowicz [22] (1996) para resolver el problema de la mezcla de productos de una empresa textil. Sólo tuvieron en cuenta restricciones de disponibilidad de materia prima.

El presente trabajo parte de la necesidad de una empresa textil de determinar su mezcla óptima de productos. Sus materias primas son hilazas. Los proveedores pueden estar ubicados en diferentes lugares del mundo, con diversos tiempos de abastecimiento. Los productos son telas que se fabrican y despachan a los clientes en rollos de diferentes longitudes. Todos los rollos de la misma referencia tienen la misma longitud. Los recursos productivos son los telares. Cada telar puede fabricar diferentes productos y cada producto se puede fabricar en diferentes telares. Según las características del producto y de los telares, algunas referencias salen en forma individual (un rollo a la vez en cada telar), mientras otras permiten varias salidas simultáneas (dos o más rollos a la vez en cada telar). Aunque hay flexibilidad en los recursos y en los productos, ni todos los telares pueden fabricar el mismo producto, ni todos los productos se pueden fabricar en un mismo telar. La velocidad del telar está dada en rpm (revoluciones por minuto) que es la cantidad de tramas que puede insertar por cada minuto de trabajo. La eficiencia de producción de cada referencia se calcula dividiendo el número de tramas efectivamente tejidas sobre el total de tramas que pudieron haberse tejido si el telar hubiese trabajado sin parar durante todo el tiempo. Se conocen valores tope de la demanda de cada producto pero se considera que los valores mínimos que se venderían sería 0 (cero), suponiendo que la empresa está en libertad de no vender ni fabricar los productos en los que no está interesada.

El propósito de este trabajo es presentar un modelo de la mezcla óptima de productos específico para la producción de textiles. Se tendrán en cuenta restricciones de capacidad, de tamaño del mercado y de disponibilidad de insumos. Se abordará el problema desde el enfoque de la programación lineal (LP) y la programación lineal entera (ILP) y se solucionará con un algoritmo de buen desempeño y costo computacional razonable.

2. MODELO GENERAL

Se parte del modelo general identificado por Byrd & Moore [1] (1978):

Maximizar Utilidad $\boldsymbol{z} = \sum_{i=1}^{n} P_i x_i$ (1)

Sujeto a:

Restricciones de capacidad:

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ij} x_i \le C_j \quad j = 1,2,\ldots, m \qquad (2)$$

Restricciones de mercado:

$$L_i \le x_i \le U_i \quad i = 1,2,\ldots, n \qquad (3)$$

Restricciones de materias primas:

$$\sum_{i=1}^{n} r_{ik} x_i \le R_k \quad k = 1,2,\ldots, q \qquad (4)$$

Donde:

z = Utilidad total.
P_i = Utilidad unitaria del producto i.
x_i = Número de unidades a vender / fabricar del producto i.
i = Número del Producto.
n = Cantidad de Productos.
t_{ij} = Tasa unitaria de producción del producto i en el recurso productivo j.
C_j = Capacidad de producción de recurso j.
j = Recurso productivo.
m = Cantidad de recursos productivos.
L_i = Demanda mínima del producto i.
U_i = Demanda máxima del producto i.
r_{ik} = Cantidad de unidades de la materia prima k requerida por cada unidad del producto i.
R_k = Cantidad de unidades disponibles de la materia prima k.
k = Número de materia prima.
q = Cantidad de materias primas diferentes.

Este modelo considera que las tasas de producción pueden variar dependiendo del recurso y del producto, que hay una demanda mínima y una máxima, y que la tasa de utilización de la materia prima puede variar dependiendo de la materia prima y del producto. Cuando no se presentan todas las fuentes de variación, el modelo es más simple. De otro lado, es necesario reconocer elementos de la técnica textil que permitan determinar los coeficientes del modelo aplicados a una empresa textil.

3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Las unidades a vender / fabricar de cada producto (x_i) pueden expresarse en kilogramos, metros lineales, metros cuadrados o rollos de tela. Dependiendo de la unidad considerada, será necesario hacer conversiones a los coeficientes que las afectan. Se elige trabajar con rollos de tela, para que la solución resultante sea aplicable en términos prácticos a la oferta real de productos textiles.

La tasa unitaria de producción de cada producto en cada recurso (t_{ij}) está ligada a la capacidad total del recurso (C_j). Es necesario que t_{ij} se exprese en unidades como las tramas (número de hilos insertados por el telar en sentido transversal a la tela), compatibles con las que se usan para C_j. Si se usan unidades como kilogramos o metros, el diseño del producto y las propiedades de los materiales inciden en la medición capacidad de producción. Las tramas no dependen del producto elaborado y miden el desempeño del telar. Las tramas que se requieren para cada rollo de tela están relacionadas en forma directa con la densidad de trama de la tela, la longitud del rollo y en forma inversa con la eficiencia y las salidas.[1] La forma de calcularlas sería:

$$t_{ij} = \frac{100 dt_i lr_i}{et_i st_i} \qquad (5)$$

Donde:

t_{ij} = Tasa unitaria de producción del producto i en el recurso productivo j.
dt_i = Densidad en trama del producto i (tramas/centímetro).
lr_i = Longitud de cada rollo del producto i (metros lineales).
et_i = Eficiencia en telares del producto i (proporción entre 0 (nada eficiente) y 1 (totalmente eficiente)).
st_i = Salidas de telar usadas para fabricar el producto i (2 = telar doble, 1 = telar sencillo)).

Como todos los términos quedaron en función del subíndice i que representa el producto, se puede simplificar la expresión (5), independizándola de los recursos productivos (j):

$$t_i = \frac{100 dt_i lr_i}{et_i st_i} \qquad (6)$$

Partiendo de que cada producto puede fabricarse en diferentes telares, y que cada telar puede fabricar diferentes productos, se pueden agrupar los grupos de telares que tienen capacidades similares. Este agrupamiento permite modelar la flexibilidad de la planta. Los grupos representan los m recursos productivos (j). La capacidad productiva (C_j) está dada por las tramas totales que puede insertar cada grupo en el periodo de tiempo considerado para la planeación. (Se asume, como ejemplo, un periodo de un mes)

$$C_j = \sum_{l=1}^{s_j} 60.24.30 rpm_l \qquad (7)$$

Donde:
C_j = Capacidad de producción de grupo de telares j.
rpm_l = Velocidad del telar l (en revoluciones por minuto).
l = Número de telar.
s_j = Número total de telares del grupo j.

Como cada telar puede pertenecer a la vez a varios grupos, debe considerarse un grupo que incluya todos los telares y evite exceder la capacidad total de la planta. La restricción asociada a ese grupo incluirá todos los telares:

$$\sum_{i=1}^{n} t_i x_i \le C \qquad (8)$$

Donde:

C = Capacidad de todos los telares de la planta.

$$C = \sum_{l=1}^{s} 60.24.30 rpm_l \qquad (9)$$

x_i = Número de unidades a vender / fabricar del producto i.
i = Número del Producto.
n = Cantidad de Productos.
t_j = Tasa unitaria de producción del producto i.
s = Número total de telares en la planta.
l = Número del telar.
rpm_l = Velocidad del telar l (en revoluciones por minuto)

Las restricciones de mercado quedan reducidas a limitar el valor de las variables de decisión x_i a la cantidad máxima de rollos a vender / fabricar.

$$x_i \le U_i \qquad i = 1,2,..., n \qquad (10)$$

Donde:

U_i = Demanda máxima del producto i (en rollos de tela).

Como el mínimo valor que puede venderse / fabricarse es cero, se asegura con la condición de no negatividad.

$$x_i \ge 0 \qquad i = 1,2,..., n \qquad (11)$$

En las restricciones de materia prima, se debe tener en cuenta que los coeficientes corresponden a los kilos de cada tipo de hilaza por un rollo de cada producto y que el término de la derecha será el total de kilos de ese tipo de materia prima disponibles en el periodo considerado:

$$\sum_{i=1}^{n} r_{ik} x_i \le R_k \qquad k = 1,2,..., q \qquad (12)$$

Donde:

r_{ik} = Kilogramos de la hilaza k requeridos por cada rollo del producto i.
R_k = Cantidad de kilos disponibles de la hilaza k.
k = Número de hilaza.
q = Cantidad de hilazas diferentes.

Como se requiere una respuesta en función de rollos de tela que son indivisibles, hay que agregar la condición de integralidad:

$$x_i \in \mathrm{N}^{2} \qquad i = 1,2,..., n \qquad (13)$$

4. MODELO APLICADO A LA TEJEDURÍA TEXTIL

El modelo completo entonces se expresaría de la siguiente manera:

De (1):

$$\text{Maximizar Utilidad } \boldsymbol{z} = \sum_{i=1}^{n} P_i x_i \qquad (14)$$

Sujeto a:

[1] En realidad, la eficiencia y las salidas deberían multiplicar el término independiente del lado derecho para reflejar su incidencia en la capacidad. Como dependen del producto y no del conjunto de máquinas se deben ubicar en los coeficientes, donde pasan al denominador.

[2] N = Conjunto de números naturales.

Restricciones de capacidad:

De (2), (6) y (7):

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{100 dt_i lr_i}{et_i st_i} x_i \leq \sum_{l=1}^{s_j} 60.24.30 rpm_l$$

$$j = 1,2,...,m \qquad (15)$$

De (8) y (9):

$$\sum_{i=1}^{n} t_i x_i \leq \sum_{l=1}^{s} 60.24.30 rpm_l \qquad (16)$$

Restricciones de mercado:

De (3) y (10):

$$x_i \leq U_i \qquad i = 1,2,...,n \qquad (17)$$

Restricciones de materias primas:

De (4) y (12):

$$\sum_{i=1}^{n} r_{ik} x_i \leq R_k \qquad k = 1,2,...,q \quad (18)$$

Condición de no negatividad:

De (11):

$$x_i \geq 0 \qquad i = 1,2,...,n \qquad (19)$$

Condición de integralidad:

De (13):

$$x_i \in \mathrm{N} \qquad i = 1,2,...,n \qquad (20)$$

Donde:

z = Utilidad total.
P_i = Utilidad unitaria del producto i.
x_i = Número de unidades a vender / fabricar del producto i.
i = Número del Producto.
n = Cantidad de Productos.
dt_i = Densidad en trama del producto i (tramas/centímetro).
lr_i = Longitud de cada rollo del producto i (metros lineales).
et_i = Eficiencia en telares del producto i (proporción entre 0 (nada eficiente) y 1 (totalmente eficiente)).
st_i = Salidas de telar usadas para fabricar el producto i (2 = telar doble, 1 = telar sencillo)).
rpm_l = Velocidad del telar l (en revoluciones por minuto).
l = Número de telar.
s_j = Número total de telares del grupo j.
s = Número total de telares en la planta.
j = Grupo de telares.
m = Cantidad de grupos de telares.
U_i = Demanda máxima del producto i. (en rollos de tela).
r_{ik} = Kilogramos de la hilaza k requeridos por cada rollo del producto i.
R_k = Cantidad de kilos disponibles de la hilaza k.
k = Número de hilaza.
q = Cantidad de hilazas diferentes.

5. SOLUCIÓN:

El modelo planteado es un problema de programación lineal entera. Se conocen trabajos recientes sobre este tipo de problemas que utilizan diferentes alternativas de solución. Shestak et al. [23] (2007) documentaron una aplicación de Branch and Bound. Onwubolu & Mutingi [20] (2001), Gamarra et al. [21] (2004), y Guttman, & Shpitalni [24] (2006) aplicaron algoritmos genéticos. Salcedo-Sanz et al. [25] (2009), y Chong et al. [26] (2006), acudieron a estrategias híbridas que involucran algoritmos genéticos. Ceciliano & Nieva [27] (1999) propusieron un algoritmo genético con población inicial generada por redondeo del óptimo relajado para un problema de planeación de redes de transmisión eléctrica.

Con la premisa de llegar a respuestas de buena calidad con bajo costo computacional, se propone un algoritmo híbrido que, como el Branch and Bound y los planos de corte, partiendo de la solución relajada del problema de programación lineal (LP), llega a la solución entera. Se utiliza la metodología de los algoritmos genéticos adaptada a las condiciones del problema de la mezcla.

El algoritmo propuesto se presenta con mayor detalle en [28]. Sus características principales son las siguientes:

5.1. POBLACIÓN INICIAL:

Aplicando el método simplex al problema lineal relajado[3] se obtiene una solución inicial en términos no enteros. Se toma la parte entera de cada variable básica en la solución óptima para conformar la primera incumbente. Como la formulación del problema sólo incluye restricciones de tipo menor o igual y todos los coeficientes son no negativos tanto en la función objetivo como en las restricciones, se garantiza la factibilidad de esa solución. Sea n, el número de variables (productos), la población inicial se compone de n + 1 soluciones: n vectores con valor de 1 en la posición i (índice del vector) y ceros en el resto de posiciones más el vector nulo que representa la solución inicial. Sumando los valores base, se calcula el valor de cada una de las soluciones, a partir de la función objetivo, penalizada en caso de incumplimiento de restricciones.

5.2. SELECCIÓN DE PADRES

Los padres se seleccionan generando dos números aleatorios entre 0 y 1 y compararlos con el valor acumulado de una ruleta con probabilidades

[3] sin considerar la restricción de integralidad.

proporcionales a la participación del valor de cada solución en la sumatoria de todas las soluciones.

5.3. CRUZAMIENTO

La suma elemento a elemento de ambos padres generará un hijo. En las primeras generaciones habrá hijos con el valor 1 en las posiciones de ambos padres y ceros en el resto de posiciones. Más adelante podría haber valores mayores que 1 en algunas posiciones, dependiendo de la factibilidad de las soluciones y de la proporción entre la utilidad de unas y otras referencias (valor de las variables). Se calcula el valor de la función objetiva para el "hijo".

5.4. MUTACIÓN

Se genera un número aleatorio entre 0 y 1. Si el valor está por debajo del índice prefijado de mutación se elije en forma aleatoria una posición dentro del "hijo". Sí la posición tiene el valor cero, cambiará a uno, de lo contrario, cambiará a cero. Se recalcula el valor de la función objetiva en el "hijo" afectado por la mutación.

5.5. RECOMBINACIÓN

Se detecta el peor elemento de la población actual y se compara con el "hijo". El mejor de los dos quedará en la población y el otro será desechado. Se regresa a la selección de padres (5.2).

5.6 CRITERIO DE PARADA

El proceso se repite hasta que pasen $((n+1)\times n)/2$ generaciones[4] sin entrar una solución mejor a la población (es decir sin que ningún hijo generado sea mejor que el óptimo preexistente). Este criterio equivale a continuar iterando hasta que se compruebe que no se logró una nueva mejor solución que las ya calculadas; después de un numero de generaciones igual a las combinaciones posibles de los n+1 elementos de la población tomando de a 2 (dos padres),

6. RESULTADOS

El algoritmo se implementó y está en uso en una empresa textil real. Sus resultados han sido utilizados como apoyo en la planificación estratégica de la política de mercadeo de la compañía. Un conjunto completo de datos con los resultados obtenidos se puede ver en http://www.utp.edu.co/~jaimeantero/mixtextil/datos_resultados.doc.

En las diferentes ejecuciones del algoritmo se han obtenido soluciones dentro del rango de 0 a 0.5% por debajo del óptimo calculado por Branch and Bound, con tiempos computacionales entre 80% y 99% menores. El aplicativo que implementa el algoritmo se desarrolló en Visual Fox Pro[5] versión 7.0. Para obtener las soluciones por Branch and Bound se utilizó el módulo LP-ILP versión 2.0 del paquete Winqsb[6]. La comparación de tiempos corresponde a un mismo computador. Más detalles se encuentran en [28].

7. CONCLUSIONES

Para modelar el problema de la mezcla de productos en forma completa se deben considerar restricciones de tamaño del mercado, de disponibilidad de materias primas y de capacidad de producción. El modelo general es de orden lineal, dada la linealidad de las relaciones entre las variables. El modelo es de tipo entero, cuando la unidad de venta y despacho es entera, como lo son los rollos o piezas de tela en una empresa textil. Para resolverlo se pueden utilizar técnicas tradicionales como el Branch and Bound, con alto costo computacional o acudir a una metaheurística como los algoritmos genéticos con resultados igual de buenos en menor tiempo. En el futuro se deben probar otras técnicas de solución buscando aún mejor eficiencia y se debe estudiar la mezcla óptima bajo la teoría de restricciones aplicada a los productos de una tejeduría textil.

8. AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradece a Textiles Omnes S. A. por facilitar la información, en especial al Dr. Albán Toulemonde y a la Ing. Gloria Lucía Arango Marín. A mi asesor, el Ing. Antonio Escobar muchas gracias por sus ideas y sugerencias siempre brillantes y útiles.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] BYRD, Jack, Jr.; MOORE, L. Ted. The Application of a Product Mix Linear Programming Model in Corporate Policy Making. Management Science, Vol. 24, No. 13, 1978.
[2] FREDENDALL, Lawrence D.; LEA, Bih-Ru. Improving the product mix heuristic in the theory of

4 $n + 1$ = tamaño de la población.

5 Visual Fox Pro es una marca registrada de Microsoft Corporation.

6 Desarrollado por Yih-Long-Chang. Professor of Operations Management,, College of Management, Georgia Institute of Technology, 800 West Peachtree Street, NW Atlanta, Georgia 30308-0520. (404) 894-4334. E-mail: yihlong.chang@mgt.gatech.edu

constraints. International Journal of Production Research. Vol. 35, No. 6, 1997

[3] LEE, Terry Nels; PLENERT, Gerhard. Optimizing theory of constraints when new product alternatives exist. Production and Inventory Management Journal, 1993.

[4] LEA, Bih-Ru; FREDENDALL, Lawrence D. The impact of management accounting, product structure, product mix algorithm, and planning horizon on manufacturing performance. International Journal of Production Economics 79, 2002

[5] MABIN, V. J.; DAVIES, J. Framework for understanding the complementary nature of TOC frames: insights from the product mix dilemma. International Journal of Production Research, 2003.

[6] ARYANEZHAD, M. B.; KOMIJAN, A. R. An improved algorithm for optimizing product mix under the theory of constraints. International Journal of Production Research, Vol. 42 No. 20, 2004.

[7] SOUREN, Rainer; AHN, Heinz; SCHMITZ, Christian. Optimal product mix decisions based on the Theory of Constraints? Exposing rarely emphasized premises of Throughput Accounting. International Journal of Production Research, Vol. 43, No. 2, 2005.

[8] BASSIN, William M. A Nonlinear Programming Model for Product Line Optimization. Logistics and Transportation Review, 1990.

[9] HODGES, S. D.; MOORE, P. G. The Product-Mix Problem under Stochastic Seasonal Demand. Management Science, Vol. 17, No. 2, 1970.

[10] REEVES, Gary R.; SWEIGART James R. Product-Mix Models When Learning Effects Are Present. Management Science, Vol. 27, No. 2, 1981.

[11] KASILINGAM, Raja G. Product Mix Determination in the Presence of Alternate Process Plans and Stochastic Demand. 17th International Conference on Computers and Industrial Engineering, 1995.

[12] VASANT, Pandian. Optimization in Product Mix Problem Using Fuzzy Linear Programming. http://www.generation5.org, 2004 (Consultado en Febrero, 2009)

[13] BHATTACHARYA, A; VASANT, P. Soft-sensing of level of satisfaction in TOC product-mix decision heuristic using robust fuzzy-LP. European Journal of Operational Research 177, 2007.

[14] SUHARTO, I.; SUSANTO, S.; ROSMIYANTI, N.T.; BHATTACHARYA, A. Fuzzy Multi-objective Linear Programming Having Probabilistic Constraints: Application in Product-Mix Decision-Making. Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. FSKD '08. Volume 4, 18-20. Page(s):652 – 656, Oct. 2008.

[15] HASUIKE, Takashi; ISHII, Hiroaki. A Product Mix Problem Based on Maximization of the Total Profit and Reduction of Excessive Inventories Including Uncertainty. 3rd International Conference on Innovative Computing Information and Control. ICICIC '08. 18-20 Page(s):282 – 282, June 2008.

[16] HASUIKE, Takashi; ISHII, Hiroaki. On flexible product-mix decision problems under randomness and fuzziness. Omega. Volume 37, Issue 4, Pages 770-787, August 2009.

[17] HASUIKE, Takashi; ISHII, Hiroaki. Product mix problems considering several probabilistic conditions and flexibility of constraints. Computers & Industrial Engineering, Volume 56, Issue 3, Pages 918-936, April 2009.

[18] ONWUBOLU, G. C. Tabu search-based algorithm for the TOC product mix decision. International Journal of Production Research, Vol. 39 No. 10, 2001.

[19] MISHRA, Nishikant; PRAKASH; TIWARI, M. K.; SHANKAR, R.; CHAN Felix T.S. Hybrid tabu-simulated annealing based approach to solve multi-constraint product mix decision problem. Expert Systems with Applications 29, 2005.

[20] ONWUBOLU, G.C.; MUTINGI, M. Optimizing the multiple constrained resources product mix problem using genetic algorithms. Production Planning & Control. Vol. 12 No. 1, 2001.

[21] GAMARRA, Daniel; GAMARRA, Abraham; GAMARRA, Juan. Determinación del Mix de Producto Óptimo para la Cooperativa Integral Manufacturas del Centro. Encuentro Científico Internacional, Perú, Vol 1, No. 2, 2004.

[22] MICHALEWICZ, Z. Genetic Algorithms + data structures = evolution programs. USA: Springer-Verlag. 1996.

[23] SHESTAK, V.; CHONG, E. K. P.;. SIEGELA, H. J.; MACIEJEWSKI, A. A.; BENMOHAMED, L.; WANG, I-J.; DALEY, R.. A hybrid Branch-and-Bound and evolutionary approach for allocating strings of applications to heterogeneous distributed computing systems. Journal of Parallel and Distributed Computing, 68, 2008.

[24] GUTTMAN, G.; SHPITALNI M. Linear programming and genetic algorithms methods for creation of groups in networks of excellence. Annals of the CIRP Vol. 55, No. 1. 2006.

[25] SALCEDO-SANZ, S.; ORTIZ-GARCÍA, E. G.; PÉREZ-BELLIDO, Á. M.; PORTILLA-FIGUERAS, A.,; LÓPEZ-FERRERAS, F. On the Performance of the LP-Guided Hopfield network-genetic algorithm. Computers & Operations Research. Vol.36. 2210-2216, 2009.

[26] CHONG, H. W. KWONG, S.; MAN, K. F. Optimization of spare capacity in wdm networks for real-time service restoration. Applied Artificial Intelligence, 20:8. 639-654. 2006.

[27] CECILIANO, J. L.; NIEVA, R. Transmission network planning using evolutionary programming. Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation. CEC 99. Volume: 3. 1796-1803. 1999.

[28] ARANGO M., Jaime Antero. Algoritmo Híbrido Genético Simplex para el Problema de la Mezcla Óptima de Productos. Presented at VIII Congreso Chileno de Investigación Operativa, OPTIMA 2009.