5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management
XV Congreso de Ingeniería de Organización
Cartagena, 7 a 9 de Septiembre de 2011

El Stroke y la Matriz de Operaciones y Materiales, nuevo enfoque para resolver el problema GMOP

Julien Maheut[1], José P. Garcia-Sabater[1], Julio J. Garcia-Sabater[1], Maria Valero Herrero[1]

[1] ROGLE. Dpto. de Organización de Empresas. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46021 Valencia. juma2@upvnet.upv.es, jpgarcia@omp.upv.es, jugarsa@omp.upv.es, mavaher@upvnet.upv.es

Palabras clave: Cadena de Suministro; Planificación de las Operaciones; Operaciones alternativas; Stroke.

1. Introducción

La gestión de materiales de productos multinivel usa desde los años 1970 la metodología denominada *Material Requirement Planning* (MRP) (Orlicky, 1975). Esa metodología que se basa únicamente en la planificación de los materiales con lista de materiales directas tuvo que evolucionar para hacer frente a las necesidades cada vez más complejas de las distintas industrias. Una de las evoluciones más relevantes fue la incorporación del *Capacitated Ressource Planning* (CRP) en los *Enterprise Ressource Planning* conjuntamente al MRP tradicional para incorporar las limitaciones de capacidad y el *routing* en los llamados MRPII (Wight, 1984). Billington et al.(1983) propusieron plantear el MRP capacitado mediante programación matemática. Evidentemente las limitaciones de la tecnología en la época les impedían afirmar que el modelo sin más fuera aplicable y en el mismo artículo propone métodos para resolver el problema. El planteamiento de los autores consiste en asignar una única lista de materiales y una lista única de recursos a cada producto susceptible de ser ensamblado. Esa estructura se ha mantenido en la literatura desde entonces sin modificaciones.

La matriz que vincula cada producto padre con los componentes que son necesarios para ensamblarlo (productos hijo) aparece en esa formulación. Posteriormente a dicha matriz se le denominará *Gozinto*. En ese trabajo ya se incorpora el Lead Time que se asocia también al producto, así como un *yield* a la producción, y la lista de recursos también en forma de matriz. Pero no se incorpora diferentes rutas para producir un mismo producto o tampoco se considera la posibilidad de usar listas inversas o alternativas de producción así como la posibilidad de trabajar entre dos niveles de una cadena teniendo en cuenta alternativas de transporte.

En este trabajo, se pretende proponer el uso de nuevas matrices que reemplazan la tradicional matriz de *Gozinto*. El modo de construcción y la interpretación de dichas matrices permiten la planificación de las operaciones en estricto nivel de igualdad a la de requerimientos de materiales. Dichas matrices permiten planificar las operaciones teniendo en cuenta todas las estructuras posibles de productos, las alternativas en cuanto a las Operaciones (que sean de aprovisionamiento, de transformación o de transporte) pero también permite una fácil integración para el caso de redes de suministro multiniveles.

El resto del artículo se ha estructurado como sigue. En el segundo apartado, se describirá brevemente el concepto “stroke” que se plantea para la planificación de las operaciones y se caracterizará algunos tipos de strokes. En el tercer apartado, se presentará un modelo genérico llamado problema GMOP (*Generic Material & Operation Planning)*. Este problema se basa en el concepto del stroke y se necesita como mínimo el uso tres matrices que se presentarán en el cuarto apartado. Finalmente, se presentan las conclusiones y algunas líneas futuras de investigación identificadas

2. El Stroke: definiciones básicas y características

Los productos que se consideran en el problema GMOP son siempre SKUs (Stock Keeping Units en inglés) o sea productos en su embalaje y su ubicación. Se asume que cada stroke puede necesitar un producto o un conjunto de productos localizados (o ningún producto en casos determinados) en un posible embalaje determinado que se consumen durante dicho stroke. A estas entradas, se las denominará *stroke inputs*. Al conjunto de productos (si existe) que se obtiene mediante la realización del stroke, se le considerará como salida de la stroke. Se le denominará *stroke output*. Los strokes outputs se consideran según los factores siguientes: la cantidad del output, la ubicación de los strokes output donde se encuentra al final del stroke (el lugar del almacenamiento) como se propone en (Pires et al., 2008) y también el tipo de embalaje o el conjunto de embalajes que se utiliza.

Una definición de un stroke sería la siguiente: Un stroke representa cualquier operación básica (en su sentido más genérico), tarea o actividad que pueda transformar (o transportar) un conjunto de productos (medido preferentemente como SKU) en otro conjunto de productos (también medido preferentemente en SKU) y/o que consuma (o inmoviliza) recursos.

Los recursos que se consideran son de diferentes naturalezas: maquinaria, mano de obra. Estos recursos se asocian directamente a cada stroke y no al producto (o conjunto de productos) que se obtienen (Figura 1). En general se pueden obtener de la *Bill of Resources o Routing* (Tatsiopoulos, 1996).

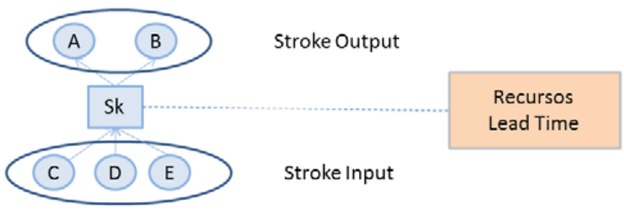

Figura 1. Representación conceptual de un Stroke Sk

Dicha operación, y por tanto el stroke que la representa, suele tener costes asociados (como por ejemplo un coste de setup y/o un coste unitario de operación), un plazo de entrega asociado, y suele consumir una cierta cantidad de recursos (que sean recursos maquinarias, de transporte o recursos humanos) en el primero de los periodos de planificación del plazo de entrega.

Las hipótesis que se asumirán para el problema GMOP son las siguientes:

- El consumo en recursos de un stroke debe ser inferior a un periodo de planificación.
- El consumo en recursos de un stroke se limitará al primer periodo de la ejecución del mismo stroke.

- Si se necesita planificar con más detalles estos recursos, el recurso se tendrá que asimilar a un producto cuyo consumo puede ser decimal (y no entero como cuando se trata de productos materiales) o se deberá usar strokes parciales. Pero no se enfocará en este punto en este trabajo.
- Un recurso no puede cambiar de localización.
- No se asumirá que un stroke sea parcial (tiene que ser entero positivo o nulo siempre).
- Un stroke tiene que tener siempre unos datos asociados no nulos para ser válido.

Con el fin de poder caracterizar diferentes strokes, se propone un gráfico (Figura 2.) para determinar de forma general cuales son los criterios que nos permiten caracterizar un stroke.

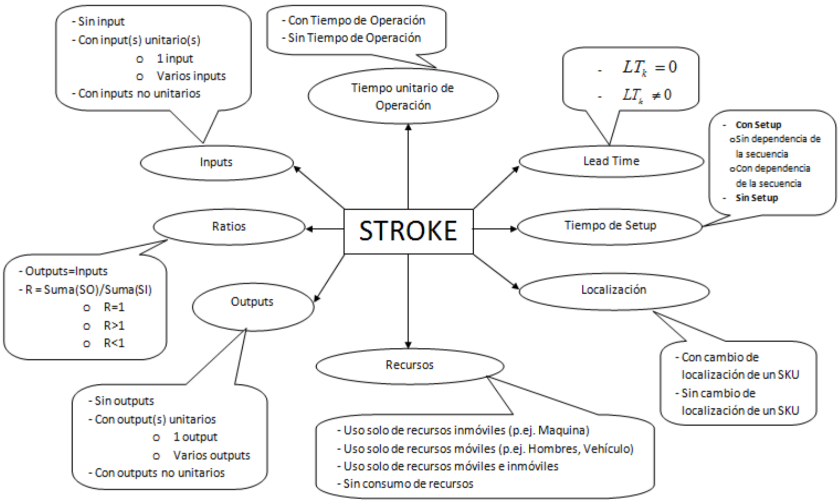

Figura 2. Características atribuibles un Stroke Sk

3. El problema GMOP

La notación del modelo de programación matemática se presenta la tabla 1. El problema GMOP se formula como un modelo de programación entera mixta:

3.1. Tabla 1 Notación

Índices and sets

$i \in P = \{1,\dots,p\}$	SKUs
$r \in R = \{1,\dots,m\}$	Recursos
$k \in S = \{1,\dots,n\}$	Strokes
$t = 1,\dots,T$	Periodos

Parámetros

d_{it}	Demanda en SKU *i* durante en el periodo *t*
h_{it}	Coste de almacenar una unidad de SKU *i* durante el periodo *t*
κ_{kr}^{S}	Tiempo de operación para la realización de una unidad de stroke *k* en el recurso *r*
l_{kr}^{S}	Tiempo de setup del stroke *k* en el recurso *r*
p_{kt}	Coste de realizar una unidad de stroke *k* durante el periodo *t*

f_{kt}	Coste de setup del stroke *k* durante el periodo *t*
SO_{ik}	Número de unidades de SKUs *i* resultado de la realización de una unidad de stroke *k* (stroke output*)*
SI_{ik}	Número de unidades de SKUs *i* que se consumen durante la realización de una unidad de stroke *k* (stroke output*)*
$LT(k)$	Lead time de un stroke *k*
Variables	
z_{kt}	Cantidad de strokes *k* que empiezan durante el periodo *t*
I_{it}	Nivel de inventario del SKU *i* al final del periodo *t*
δ_{kt}	Vale 1 si el stroke *k* está en set up durante el periodo *t* (0 en caso contrario)

$$Minimizar\ F(z, I, \delta) = \sum_{t=1}^{T} \left(\sum_{i \in P} \left(h_{it} I_{it} \right) + \sum_{k \in S} \left(p_{kt} z_{kt} + \delta_{kt} f_{kt} \right) \right) \qquad (1)$$

Sujeto a

$$I_{it} = I_{i,t-1} - d_{it} + \sum_{k \in S} \left(SO_{ik} \cdot z_{k,t+LT_k} \right) - \sum_{k \in S} \left(SI_{ik} \cdot z_{kt} \right) \qquad i \in P, \quad t = 1, \ldots, T \qquad (2)$$

$$z_{kt} - M \cdot \delta_{kt} \leq 0 \qquad k \in S, \quad t = 1, \ldots, T \qquad (3)$$

$$\sum_{k \in S} \left(\delta_{kt} l_{kr}^{S} + z_{kt} \kappa_{kr}^{S} \right) \leq K_{rt} \qquad r \in R, \quad t = 1, \ldots, T \qquad (4)$$

$$I_{it} \geq 0 \qquad i \in P, \quad t = 1, \ldots, T \qquad (5)$$

$$z_{kt} \geq 0, \ \delta_{kt} \in \{0,1\} \qquad k \in S, \quad t = 1, \ldots, T \qquad (6)$$

El objetivo (1) consiste en la minimización de los costes de setup de los strokes, de los costes unitarios de stroke y de los costes de almacenamiento. La ecuación (2) representa la continuidad del flujo de materiales. Debido a la restricción (3), si se produce un stroke en el periodo t, un setup se tendrá en cuenta. La restricción (4) representa la limitación de la capacidad productiva en cada periodo para cada recurso. Las ecuaciones (5)-(6) definen el dominio de definición de las variables. Se puede intuir que el problema GMOP es NP-Hard como un multi-level capacitated lot-sizing problem como lo demuestra Lang (2010).

4. La Matriz de Operaciones & Materiales y las matrices de Operaciones & Recursos

Planificar usando la variable strokes resulta muy diferente a la planificación tradicional que se basa en la Matriz *Gozinto*. Debido a la necesidad de trabajar con una nueva representación de los datos, se propone en ese apartado una descripción de nuevas matrices que se denominarán *Matriz de Operaciones & Materiales* y *Matrices de Operaciones & Recursos*.

4.1. Las matrices de Operaciones & Recursos

Las *matrices de Operaciones & Recursos* son matrices que asignan a cada stroke los diferentes recursos que se inmovilizan o consumen. Estas matrices se construyen en base a una matriz de asignación de recursos a strokes. Esta matriz $R^{S} = \left[r_{k,r} \right]$ es una matriz de asignación binaria (en el sentido que $r_{k,r} \in \{0,1\}, \forall (k,r)$) como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2 Ejemplo de R^S

$r_{k,r}$	1	2	3
1	1	1	0
2	0	0	1
3	1	0	0

Gracias a la matriz R^S, los diferentes costes y tiempos asociados a cada conjunto operación-recurso se necesita. La tabla 3 presenta una *"sparse-matriz"* asignar las características del modelo GMOP.

Tabla 3 Ejemplo de sparse-matriz de Operaciones & Recursos

Stroke k	Recurso r	κ_{kr}^{S} (minutos)	l_{kr}^{S} (minutos)
1	1	14	32
1	2	24	67
2	3	13	25
3	1	23	86

4.2. Descripción de la matriz de Operaciones & Materiales

La *Matriz de Operaciones & Materiales* representa para cada stroke el valor de los *stroke outputs* y de los *stroke inputs* asociado a cada stroke con el uso de una matriz única. Esta matriz que escribiremos $S^S = \left[s_{k,i} \right]$ se forma elementos enteros. Esa matriz se compone de elementos positivos (y negativos) asociados a los outputs (e inputs).

Esta representación no se puede usar para el uso directo en modelos de programación matemática, pero con una transformación sencilla, se consigue. Esta matriz se puede dividir en dos matrices positivas tal que $S^S = \left[s_{k,i} \right] = SO - SI = \left[so_{k,i} \right] - \left[si_{k,i} \right]$. Se debe asumir que $so_{k,i}, si_{k,i} > 0 \forall (k,i)$.

Con el fin de poder describir la matriz S^S, se presenta en la Tabla 4 nuevas notaciones:

Tabla 4 : Índices de la Matriz de Operaciones & Materiales

n_j	Número de ubicaciones considerado
$j \in J = \{1,\ldots,l\}$	Ubicaciones/Localizaciones/Plantas consideradas
A_j	Conjunto de strokes de compras con outputs exclusivos en *j*
T_j	Conjunto de strokes de transformación que se ejecutan en *j*
D_j	Conjunto de strokes de transporte con outputs exclusivos en *j*
M_j	Conjunto de strokes de apoyo/ayuda que se consideran en *j*
S_j	Conjunto de strokes que se ejecutan en *j* $S_j \subset \left(A_j \cup T_j \cup D_j \cup M_j \right)$
i(j)	SKU que se define por ser un producto *i* en la localización *j*
$k_j \in S_j$	Stroke *k* que se ejecuta en la localización *j*

El índice *j* hace referencia a una localización definida geográficamente o a un miembro en particular de una red de suministro. El índice *i* hace referencia a producto (con su embalaje) pero sin tener en cuenta su localización. El índice *i(j)* hace referencia a un producto *i* localizado en *j*. Este índice representa todos los SKUs posibles. En teoría, un producto *i* disponible en una localización *j1* y el mismo disponible en una localización *j2* deberían tener dos índices *i* diferentes. Con el fin de aligerar el modo de representación y no usar un índice diferente, se considera que *i(j1)* y *i(j2)* son dos productos diferentes que se diferencian por su localización. El índice *k(j)* hace referencia a una operación básica, que sea de transformación o de transporte, que tiene como mínimo un output en *j*. En base a esto, podemos definir los elementos siguientes:

- Sea $S_{k(j)} = \left[s_{1(j),k(j)}, \ldots, s_{p(j),k(j)} \right]$, el vector columna asociado al stroke *k(j)*. En este caso, el vector se componente de *p* SKUs que se consideran en el problema.
- Sea $S_{k(j)}^{out}$ el conjunto de valores de la matriz $S_{k(j)}$ tal que $S_{k(j)}^{out} = \left[s_{1(j),k(j)}^{out}, \ldots, s_{p(j),k(j)}^{out} \right]$ y $s_{i(j),k(j)}^{out} \geq 0$. Este conjunto de valor representa los diferentes niveles de outputs asociados al stroke *k(j)* en la localización *j.*
  - o Si $s_{i(j),k(j)}^{out} = 0$, entonces, no hay SKUs *i(j)* asociado al stroke *k(j).*
  - o Por otra parte, si $s_{i(j),k(j)}^{out} = x, x \in Z^{+}$, el stroke *k(j)* tendrá *x* output del SKU *i(j)*.
- Sea $S_{k(j)}^{in}$ el conjunto de valores tal que $S_{k(j)}^{in} = \left[s_{1(j),k(j)}^{in}, \ldots, s_{p(j),k(j)}^{in} \right]$, $\left[S_{i(j),k(j)} \right] = \left[S_{i(j),k(j)}^{out} \right] - \left[S_{i(j),k(j)}^{in} \right]$ y $s_{i(j),k(j)}^{in} \geq 0 \quad \forall i \in I$. De forma similar a $s_{i(j),k(j)}^{out}$, $s_{i(j),k(j)}^{in}$ representa los inputs *i(j)* asociados al stroke *k(j).*

Los niveles de output

Como se puede ver en el esquema encima, se ve que existen tres tipos de outputs que permiten caracterizar un stroke:

- Cuando $\sum_{i(j)} s_{i(j),k(j)}^{out} = 0$, entonces el stroke no tiene output.
- Cuando $\max\left(s_{i(j),k(j)}^{out} \right) = 1$, entonces el stroke tiene 1 o varios outputs unitarios.
- Cuando $\max\left(s_{i(j),k(j)}^{out} \right) > 1$, entonces el stroke tiene 1 o varios outputs en cantidades múltiples.

Los niveles de inputs

Como se puede ver en el esquema encima, se ve que existen tres tipos de inputs que permiten caracterizar un stroke de la misma forma que para los outputs:

- Cuando $\sum_{i(j)} s^{in}_{i(j),k(j)} = 0$, entonces el stroke no tiene inputs.
- Cuando $\max\left(s^{in}_{i(j),k(j)}\right) = 1$, entonces el stroke tiene 1 o varios inputs unitarios.
- Cuando $\max\left(s^{in}_{i(j),k(j)}\right) > 1$, entonces el stroke tiene 1 o varios inputs en cantidades múltiples.

4.3. Descripción de la matriz R^S

Cuando el consumo de recurso se atribuye al producto, los modelos usan la matriz $r_{r,k}$. Para el problema GMOP, se considerará la matriz $r_{r,k}$ como la matriz que asocia a cada stroke k el consume de un recurso (o conjunto de recurso) r. Sea $r1$, el recurso "mano de obra" y $r2$ el recurso "maquina 1". Existen diferentes modos de construir o interpretar esa matriz:

- Si $\sum_{r} r_{r,k(j)} = 0$, el stroke *k(j)* no consume ningún recurso planificado. No significa por tanto que el stroke no consume ningún recurso, sino que los recursos consumidos no se planifican o no son limitados.
- Si $r_{r1,k(j)} = 1$, se necesita el recurso humano para realizar el stroke *k(j)* (*x* puede ser superior a uno).

Cuando se trata de recursos máquina, el caso favorable es que $0 \leq r_{r2,k(j)} \leq 1$. Eso permite planificar el uso de cada máquina (o de un modo de transporte) de forma precisa. Se podría permite que $r_{r2,k(j)} > 1$ pero en dicho caso, se asume que se podría descomponer el stroke considerado en varios strokes básicos.

5. Análisis de una Matriz de Operaciones & Materiales genérica

5.1. Análisis de la estructura de las Operaciones

La *matriz de Operaciones & Materiales* tiene una estructura básica en cuanto a las Operaciones que se realizan en una matriz multi-sitios. Esa estructura se basa en las operaciones básicas que se realizan y se planifican en la red de suministro. La estructura que se propone es la que se puede apreciar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**3 a continuación:

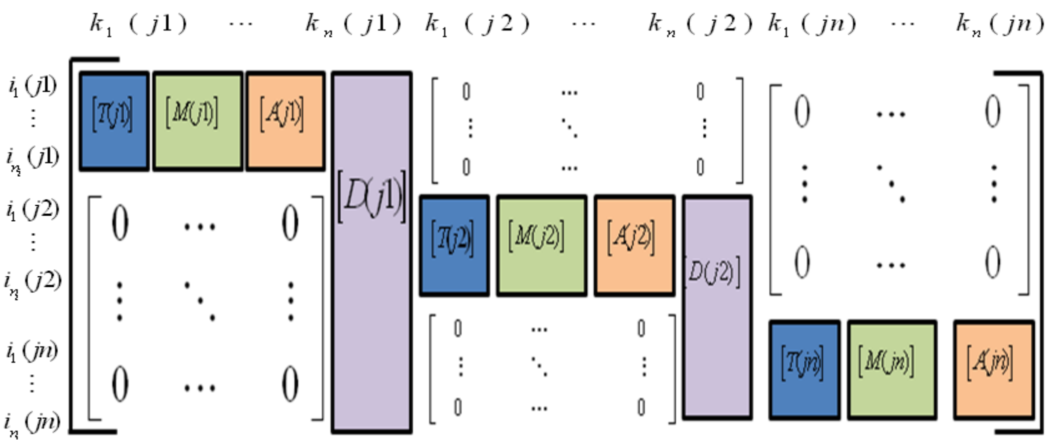

Figura 3. Estructura de la Matriz de Operaciones & Materiales en función de las operaciones consideradas

En esa figura, se observa dos aspectos interesantes:

- Se ve que las operaciones de transformación, de compras y de apoyo son responsabilidad de una localización/planta/sitio.
- La matriz de transporte asociado a *j1* consiste en una operación o el conjunto de operaciones que termina en *j1*. Eso quiere decir que un stroke de transporte perteneciendo a [D(*j1*)] puede enviar/quitar productos a *j2* y a *jn* pero tiene que tener outputs o inputs en *j1*.

5.2. Aplicación a un caso sencillo

Para poder entender en un caso sencillo el uso de la "*Operation & Material Matrix*", se propone un ejemplo sencillo a continuación con la Figura 4.

En este ejemplo, se considera dos plantas en ubicaciones distintas. En cada planta, existen 4 tipos de productos: Los productos acabados, los productos semi-elaborados, la materia prima y los embalajes que se manejan. Entre cada planta, existen 3 strokes de transporte: Dos que transportan productos hasta la planta del primer nivel y otro de retorno. En este problema, se considera EMB3 como embalaje.

			localización	j1	j1	j1	j1	j1	j1	j2	j2	jT	jT	jT
Nivel	Localización	Tipo	Prod\Stroke	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10	k11
1	j1	M	i1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	j1	M	i2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	j1	M	i3	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	j1	M	i4	0	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	j1	M	i5	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0
3	j1	M	i6	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0
E	j1	EMB1(j1)	i7	1	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
1	j2	M	i5	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0
1	j2	M	i6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0
2	j2	M	i8	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0	0
2	j2	M	i9	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	0
3	j2	M	i10	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
3	j2	M	i11	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
E	j2	EMB2(j2)	i12	0	0	0	0	1	1	-1	-1	0	0	0
T	j1	EMB3(j1)	i13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-1
T	j2	EMB3(j2)	i14	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	1

Figura 4. Caso sencillo de una *matriz de Operaciones & Materiales*

En el caso presentado en la figura por encima, se puede observar un caso de estudio muy sencillo:

- El stroke k1 consume el producto i3 y produce el producto i1 dejando el embalaje EMB1 vacio en la localización j1.
- El stroke k2 consume el producto i4 y produce el producto i2 dejando el embalaje EMB1 vacio en la localización j1.
- El stroke k3 consume el producto i5 y produce el producto i3 usando un embalaje EMB1 vacio en la localización j1.
- El stroke k4 consume el producto i6 y produce el producto i4 usando un embalaje EMB1 vacio en la localización j1.

- El stroke k5 consume el producto i8 y produce el producto i5 dejando el embalaje EMB2 vacio en la localización j2.
- El stroke k6 consume el producto i9 y produce el producto i6 dejando el embalaje EMB2 vacio en la localización j2.
- El stroke k7 consume el producto i10 y produce el producto i8 usando un embalaje EMB2 vacio en la localización j2.
- El stroke k8 consume el producto i11 y produce el producto i9 usando un embalaje EMB2 vacio en la localización j2.
- El stroke k9 (respectivamente k10) transporta i5 (respectivamente i6) de j2 a j1 usando el embalaje EMB3 disponible en j2 y dejándolo en j1.
- El stroke k11 transporte EMB3 de j1 a j2.

5.3. Ventaja y desventajas de la planificación con el uso de la variable stroke

Límites de la representación:

La construcción de esa matriz es sencilla pero a medida que irá aumentado el número de producto, de operaciones y de localización, el tamaño de la matriz irá creciendo de forma exponencial. Y eso tendrá por consecuencia tiempos de carga de datos y tiempos de resoluciones más importantes.

Uniformidad de la variable de decisión

Como se puede apreciar en las figuras presentadas anteriormente, el uso del stroke permite representar de forma uniforme cualquier problema. Basándose en una estructura más uniforme y sencilla, el modelado matemático y la resolución del problema de planificación tiene que resultar más fácil (los experimentos lo demostrarán o no, pero una método de descomposición resultará más fácil de ser implementado así como heurísticas o meta-heurísticas).

Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**5, las variables típicas de producción, compras, transporte o de operaciones diversas se pueden representar mediante una variable única que se puede representar con una tabla única uniforma con la variable $z_{k,t}$.

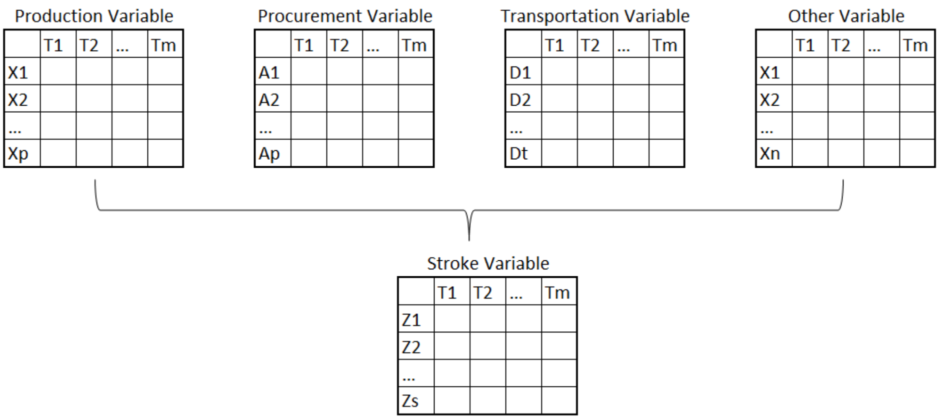

Figura 5. Uniformización de la variable de decisión gracias al Stroke

Esa uniformización de la variable de decisión permite limitar el número de tipos de variables en la función objetivo. Así también, aunque un stroke se caracterice por unos strokes output y strokes input, el modelo no necesita presentar mucho índices.

Conclusión

En este trabajo, se ha presentado un modelo de programación matemática para la resolución del problema GMOP. Este problema se basa en el concepto "stroke" para la planificación de las Operaciones. Este nuevo enfoque implica la necesidad de trabajar con nuevas matrices diferentes a la matriz de *Gozinto*. En este trabajo, se propone la introducción de la *matriz de Operaciones & Materiales* y el uso de *matrices de Operaciones & Recursos* que se basa en una matriz de asignación de strokes a recursos. Este trabajo propone un sencillo análisis de la matriz, presenta un caso sencillo de aplicación de las matrices. A continuación, se presentó unas de las posibles ventajas y desventajas del concepto "stroke" y del uso de las nuevas matrices.

Futuras líneas de investigación consistirán en proponer procedimientos para la transformación de bases de datos tradicionales en bases de datos que soportan la planificación desde un punto de vista de las operaciones con el concepto del stroke. Otra línea de investigación consistirá en analizar las estructuras de datos que hacen que el problema GMOP resulta más o menos difícil en su resolución.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado gracias a la ayuda DPI2010-18243 del Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España dentro del programa de Proyectos de Investigación Fundamental no orientada, con el título "Coordinación de operaciones en redes de suministro/demanda ajustadas, resilientes a la incertidumbre: modelos y algoritmos para la gestión de la incertidumbre y la complejidad" Asimismo, esta investigación también ha sido financiada mediante una beca doctoral VALi+d concedida por la Generalitat Valenciana de España a Julien Maheut (Ref. ACIF/2010).

Referencias

Billington, P. J., McClain, J. D., & Thomas, L. J. (1983). Mathematical programming approaches to capacity-constrained MRP systems: Review, formulation and problem reduction.

Lang, J. C. (2010). Production and inventory management with substitutions Springer Verlag, Germany.

Orlicky, J. (1975). Material Requirements Planning: The new way of life in production and inventory management McGaw Hill

Pires, L. C. M.; Carvalho, J. D. A.; Moreira, N. A. (2008). The role of Bill of Materials and Movements (BOMM) in the virtual enterprises environment. International Journal of Production Research, Vol. 46, nº. 4, pp. 1163-1185.

Tatsiopoulos, I. P. (1996). On the unification of bills of materials and routings. Computers in Industry, Vol. 31, nº. 3, pp. 293-304.

Wight, O. W. (1984). Production and inventory management in the computer age John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.