8.4.2. El algoritmo ROC - *Rank Ordered Clustering*

Este algoritmo es un método sencillo para ilustrar cómo resolver un problema básico de formación de células buscando minimizar el flujo entre células. Los pasos son los siguientes:

1. **Obtener la matriz trabajo-máquina**. La matriz trabajo-máquina es una matriz de tamaño $n \times m$ donde un 1 en la posición (j, i) indica que el trabajo j pasa por la máquina i, mientras que en caso contrario la posición (j, i) está en blanco (cero). En general, denotaremos por a_{ji} el valor de la matriz trabajo-máquina en la posición (j, i).

2. Mientras sea posible mejorar:

    a) Asignar pesos a cada máquina y calcular el peso total de cada trabajo.

    - Los pesos a cada máquina se asignan de la siguiente forma: La máquina en orden i ($i = 1, \ldots, m$) tiene un peso $2^{(m-i)}$.
    - El peso total de cada trabajo se calcula como la suma de los pesos de todas las máquinas que intervienen en la fabricación de ese trabajo. Es decir, para el trabajo j su peso total pt_j es:

    $$pt_j = \sum_{i=1}^{m} 2^{(m-i)} \cdot a_{ji}$$

    De esta manera, los trabajos que requieren operaciones en las primeras máquinas tienen un peso mayor que los trabajos que requieren operaciones en el resto de máquinas.

    b) Ordenar los trabajos de mayor a menor peso. Las filas de la matriz trabajo-máquina son intercambiadas de manera que la primera fila corresponde al trabajo de mayor peso total, la segunda al trabajo de mayor peso total, y así sucesivamente.

    c) Asignar pesos a cada trabajo y calcular el peso total de cada máquina:

    - Al trabajo en orden j en la nueva matriz trabajo-máquina ($j = 1, \ldots, n$) se le asigna un peso $2^{(n-j)}$.
    - El peso total de la máquina i ($i = 1, \ldots, m$) es la suma de los pesos de los trabajos que tienen que ser procesados en la máquina. Es decir, para la máquina i su peso total pt_i es:

    $$pt_i = \sum_{j=1}^{n} 2^{(n-j)} \cdot a_{ji}$$

    De esta manera se le da mayor peso a las máquinas que deben procesar las primeras operaciones de los trabajos.

    d) Ordenar las máquinas de mayor a menor peso. Las columnas de la matriz trabajo-máquina son intercambiadas de manera que la primera columna corresponde al trabajo de mayor peso total, la segunda al segundo trabajo de mayor peso total, y así sucesivamente.

Una vez realizada una iteración, es preciso ver si es posible mejorar. La mejora será posible si las máquinas y/o los trabajos no están ya ordenados de acuerdo a sus pesos.

3. **Identificar las células y tratar las excepciones**. De la matriz trabajos-máquinas resultante será posible identificar varias posibilidades para formar las células mediante la partición de la matriz trabajos-máquinas resultante en varias submatrices (introduciendo divisiones en las filas o en las columnas de la matriz). En tal caso, usando alguna medida de eficiencia de la formación de células (ver apartado 8.4.1), se escoge la formación que resulte mejor.

   Es posible que, una vez seleccionada la formación resultante, persistan vacíos o excepciones que hagan la formación poco eficiente. En tal caso, puede optarse por alguna (o varias) de las siguientes opciones:

   - Modificar la ruta de algún trabajo.
   - Externalizar (subcontratar) alguna operación.
   - Duplicar máquinas en varias células.

Ejemplo 8.4

Usando el algoritmo ROC, abordar el problema de formación de células (se pretenden crear dos células) para 5 trabajos y 7 máquinas cuyas rutas vienen dadas en la siguiente tabla:

	Estación para cada trabajo			
Trabajo	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4
1	7	2	4	
2	3	5		
3	4	2	1	7
4	1	3	6	
5	6	3	5	4

Los pasos del algoritmo ROC son los siguientes:

1. Obtener la matriz trabajos-máquinas:

	Máquina						
Trabajo	1	2	3	4	5	6	7
1		1		1			1
2			1		1		
3	1	1		1			1
4	1		1			1	
5			1	1	1	1	

2. Asignar los pesos a las máquinas y computar el peso total de los trabajos.

	Máquina							
Trabajo	1	2	3	4	5	6	7	Peso total
1		1		1			1	41
2			1		1			20
3	1	1		1			1	105
4	1		1			1		82
5			1	1	1	1		30
Peso	64	32	16	8	4	2	1	

3. Ordena los trabajos en orden descendiente de su peso total:

	Máquina						
Trabajo	1	2	3	4	5	6	7
3	1	1		1			1
4	1		1			1	
1		1		1			1
5			1	1	1	1	
2			1		1		

4. Asignar los pesos a cada trabajo y computar el peso total de las máquinas.

	Máquina							
Trabajo	1	2	3	4	5	6	7	Peso
3	1	1		1			1	16
4	1		1			1		8
1		1		1			1	4
5			1	1	1	1		2
2			1		1			1
Peso total	24	20	11	22	3	10	20	

5. Ordenar las máquinas en orden descendiente de su peso total.

	Máquina						
Trabajo	1	4	2	7	3	6	5
3	1	1	1	1			
4	1				1	1	
1		1	1	1			
5		1			1	1	1
2					1		1

6. Repetir hasta que no sea posible mejorar. Para ver si es posible la mejora, se colocan los pesos en la matriz resultante:

	Máquina							
Trabajo	1	4	2	7	3	6	5	Peso total
3	1	1	1	1				120
4	1				1	1		70
1		1	1	1				56
5		1			1	1	1	39
2					1		1	5
Peso	64	32	16	8	4	2	1	

Como puede observarse, las máquinas y trabajos están ya ordenados de mayor a menor, por lo que no es posible mejorar.

7. Identificar células y tratar los vacíos y las excepciones.

   En este caso, se pueden considerar las siguientes opciones:

	Máquina						
Trabajo	1	4	2	7	3	6	5
3	1	1	1	1			
4	1				1	1	
1		1	1	1			
5		1			1	1	1
2					1		1

   Como puede verse, en la solución anterior, el número de excepciones es $E = 3$, y el número de vacíos es $V = 5$, por tanto:

   $Q = \frac{1-\frac{3}{35}}{1+\frac{5}{35}} = \frac{32}{40} = 0.8$

   Otras opciones que introduzcan distintas particiones de los trabajos y máquinas (sin reordenar la matriz) se ve a simple vista que son menos eficientes, por lo que nos quedaríamos con ésta.

   En este caso, si se quieren minimizar las excepciones (y se excluyen la subcontratación o el cambio de la ruta del producto), llevaría a la necesidad de comprar máquinas adicionales: las máquinas 3 y 6 para la célula 1, y la máquina 4 para la célula 1. En este caso, las células resultantes serían:

   - Célula 1: Máquinas 1,2,3,4,6,7 que procesan los trabajos 1,3, y 4.
   - Célula 2: Máquinas 3,4,5,6 que procesan los trabajos 2 y 5.

Aunque la heurística ROC proporciona soluciones sencillas, se trata de un método aproximado que, en general, no proporcionará soluciones óptimas, por lo que se debería recurrir o a métodos exactos (ver nota 8.1) o a heurísticas más sofisticadas para obtener soluciones de calidad.

Ejemplo 8.5

Se ha visto en el ejemplo 8.4 que se obtenía la siguiente solución:

	Máquina						
Trabajo	1	4	2	7	3	6	5
3	1	1	1	1			
4	1				1	1	
1		1	1	1			
5		1			1	1	1
2					1		1

La eficiencia de esta formación es $Q = 0.8$. No obstante, es fácil ver que hay otras alternativas posibles, por ejemplo reordenando los trabajos 1 y 4, se obtiene:

	Máquina						
Trabajo	1	4	2	7	3	6	5
3	1	1	1	1			
1		1	1	1			
4	1				1	1	
5		1			1	1	1
2					1		1

Y puede verse que, en este caso se tiene que $E = 2$ y que $V = 3$, por lo que $Q = \frac{1-\frac{2}{35}}{1+\frac{3}{35}} = \frac{33}{38} = 0.8684$, lo que resulta en una formación de células más eficiente.