

ANALIZANDO LAS DECISIONES DE FLEXIBILIDAD EN MANUFACTURA: UNA PERSPECTIVA DESDE LAS OPCIONES REALES

Pablo César Manyoma Velásquez

*Profesor Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística Universidad del Valle, Colombia
Contacto: manyoma@pino.univalle.edu.co*

Diego Fernando Manotas Duque

*Profesor Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística Universidad del Valle, Colombia.
Contacto: manotas@pino.univalle.edu.co*

Resumen

En el presente artículo se ilustra, mediante un caso de aplicación, el uso de las opciones reales para analizar decisiones de flexibilidad en ambientes de manufactura, específicamente cuando se trata de situaciones en las que se debe decidir la mezcla de productos con el fin de aumentar la rentabilidad de la organización. Finalmente, mediante un sencillo ejemplo se trata de analizar el impacto marginal que producen las decisiones de invertir en ambientes de producción flexibles, frente a entornos de producción dedicada.

Palabras Clave: Flexibilidad en manufactura, opciones reales.

Abstract

This paper shows the use of real options to analyze decisions about flexible manufacturing, specifically in situations about make decisions of product mix. Finally, through example the paper analyze the marginal impact of flexible manufacturing vs dedicated manufacturing.

Key words: Manufacturing flexibility, real options.

1. Introducción

Las técnicas tradicionales de evaluación de inversiones como el valor presente neto, la tasa interna de retorno o el periodo de pago descontado, aunque son de gran utilidad, generalmente, no logran capturar el valor de las opciones implícitas en los procesos de planeación. La flexibilidad de la administración para demorar, ampliar o contraer una inversión, genera un entorno de decisión dinámico que requiere de herramientas de evaluación apropiadas. En este sentido, la teoría de opciones proporciona elementos válidos de discusión frente a estas decisiones contingentes.

2. Sobre la flexibilidad en la manufactura

Al realizar una revisión bibliográfica sobre el tema de la flexibilidad en manufactura, se puede concluir que hay un consenso frente a lo que podría llamarse dimensiones de flexibilidad. De igual forma se puede identificar claramente lo relacionado que está una dimensión con otra y la necesidad de mirar holísticamente el sistema. Se pueden reconocer, entre otras, las siguientes dimensiones o tipos de flexibilidad (D'SOUZA y WILLIAMS, 2000): en Volumen, en Producto, en Manejo de Materiales; Laboral; en Programación de Operaciones, en Expansión; en Materiales y en Tiempos de entrega.

Para un mejor entendimiento de la relación de la flexibilidad y las opciones reales, se procederá a tratar con una sola dimensión de la flexibilidad en manufactura: *La flexibilidad en Producto*, en particular con la flexibilidad en variedad (algunos la denominan mix).

En general esta flexibilidad hace referencia a la habilidad del sistema de manufactura para producir un número determinado de diferentes productos. En esta definición se pueden distinguir varios aspectos relevantes: el tiempo (set-up) de los cambios entre productos, la forma de los cambios (manual, mecánico o automático) y la relación de la variedad con el volumen a la hora del cambio.

La flexibilidad puede ser obtenida de varias formas y cada una estar asociada a los costos de adquirirlas, por esto se vuelve importante determinar o identificar los beneficios dados por la flexibilidad, para así conocer si sus ingresos marginales exceden los costos de adquirirla y mantenerla.

3. La flexibilidad en manufactura vista como opción real

Si se analiza la situación más básica de flexibilidad que puede estar dada por una máquina o una línea de ensamble sencilla, la cual cuenta con una opción de producción que expira en un tiempo determinado, se puede decir que el valor de la opción está dado por la siguiente expresión: (BENGTSSON, 1999)

$$V(T) = \text{Max}[(P - CV) * D - S, 0] \quad (1)$$

Donde:

P = Precio de venta unitario

CV = Costo variable

D = Cantidad demandada

S = Costo relacionado con el cambio de producto

Esta formulación **no** muestra lo que se "pierde" por dejar de producir el otro producto. En este caso, sin *ninguna restricción de capacidad*, esta opción puede ser vista como una opción call europea, donde el margen de contribución $(P-CV)*D$ es el valor total del activo subyacente y el costo del set-up (S) es el precio del ejercicio. Es de esperarse que la producción se lleve a cabo si $V(T) > 0$.

Si se calcula el valor presente neto (VPN) de una oportunidad de inversión en un tiempo t, donde la decisión está dada por las cantidades de los diferentes N productos que se pueden producir, es necesario incluir en la formulación los costos fijos CF y los costos de inversión I, la expresión completa sería (BENGTSSON, 2001):

$$VPN(t) = \sum_{k=1}^K \left[\frac{\sum_{i=1}^N V_i(t) - CF - I}{(1+r)^n} \right]_k \quad (2)$$

Donde K significa el número de veces que la decisión puede ser tomada en ese intervalo de tiempo, convirtiéndose así en un contador que indica si la opción se está ejerciendo un número de veces en el intervalo definido (semana, mes, etc.)

4. Una aproximación más cercana

Para evidenciar mejor la flexibilidad en la toma de decisiones, se propone la siguiente formulación, a partir de la forma más simple de flexibilidad:

Existe una máquina X (no flexible) que hace sólo el producto A en un tiempo determinado (T) y existe una máquina Y (flexible) que realiza los productos A y B, también en un tiempo dado. Se puede asumir que tanto el costo de inversión como los costos fijos de la máquina no flexible son inferiores a los mismos rubros de la máquina flexible.

El valor presente neto (VPN) de las máquinas estará explicado por las siguientes expresiones, pero antes se deben entender los elementos componentes:

V = Valor de la máquina correspondiente (visto este como los flujos que genera).
 MCU = Margen de Contribución Unitaria (diferencia entre el precio de venta unitario y el costo de venta unitario del producto demandado).
 Q = Cantidad producida del producto demandado.
 CF = Costos fijos de la máquina respectiva.
 I = Inversión inicial a realizar en la máquina respectiva.
 T = Número de semanas de producción del producto demandado.
 r = Tasa de descuento

a) Para la máquina X que elabora el producto A se tendría:

$$VPN(X) = \sum_{n=1}^T \frac{(V_X - CF_X)}{(1+r)^n} - I_X$$

$$V_X = MCU_A * Q_A$$

$$VPN(X) = \sum_{n=1}^T \frac{(MCU_A * Q_A) - CF_X}{(1+r)^n} - I_X \quad (3)$$

b) Para la máquina Y (flexible) que elabora productos A y B, se tendría:

$$VPN(Y) = \sum_{n=1}^T \frac{(V_Y - CF_Y)}{(1+r)^n} - I_Y$$

$$V_Y = MCU_A * Q_A + VrOpción$$

$$VrOpción = Max[MCU_B * Q_B - (MCU_A * Q_A + ST_{AB}), 0] \quad (4)$$

Donde ST es el costo de cambio de producto A a producto B.

Si se analiza desde un punto de vista más genérico, adquirir un sistema flexible de manufactura puede ser visto como adquirir un portafolio de opciones. Cada decisión de producción es tomada como una

opción para cada producto a manufacturar. Producir un producto i en un tiempo T, sin ninguna restricción de capacidad, estaría dado por (BENGTSSON, 2001):

$$V_i(T) = Max[(P_i - CV_i) * D_i - S_i, 0] \quad (5)$$

En la bibliografía consultada no aparece una expresión genérica que muestre una aproximación del VPN de cualquier elemento (máquina, línea, celda) de flexibilidad desde la dimensión de mezcla (mix) de producto. Aquí se plantea la siguiente aproximación, que puede ilustrar las relaciones existentes entre lo que es capaz de hacer el elemento flexible frente a la rigidez que ofrezca otro elemento (MANYOMA, 2006).

$$VPN(Flex) = \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^T \left[\frac{(mcu_i * q_i)}{(1+r)^n} \right]$$

Esto representaría el margen que cada producto (de un sistema no flexible) puede generar en un periodo de tiempo.

$$VPN(Flex) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^W \sum_{n=1}^T \left[\frac{max[(mcu_j * q_j - mcu_i * q_i - st_{ij}); 0]}{(1+r)^n} \right]$$

Esto representa el margen en el tiempo obtenido por el cambio de producto i a j.

$$VPN(Flex) = \sum_{n=1}^T \left[\frac{CF_n}{(1+r)^n} \right]$$

Representa el costo fijo en el momento que se presente la opción.

Esas expresiones pueden quedar resumidas en la siguiente ecuación:

$$VPN(Flex) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^W \sum_{n=1}^T \left[\frac{(mcu_i * q_i) + max[(mcu_j * q_j - mcu_i * q_i - st_{ij}); 0] - CF_n}{(1+r)^n} \right] - I \quad (6)$$

Donde:

i = representa los productos que pueden realizarse por elementos no flexibles.

j = representa los productos que pueden realizarse, además, por elementos flexibles.

Definitivamente, esta forma de decisión se convierte en una herramienta poderosa a la hora de definir cualquier necesidad de sistemas de flexibilidad, porque muestra la interacción de los productos que se puedan realizar contingentemente frente a los que se tienen que hacer si o sí.

Es importante identificar aquí la necesidad de tener una tasa de descuento acorde al tiempo y al riesgo que presupone el elemento flexible. Aunque claro está, que la definición de esta tasa es un problema del alcance de otro documento y no de este.

5. Ejemplo Básico

Como una mejor forma de dar a entender las proposiciones realizadas y documentadas se expone a continuación el caso más básico de flexibilidad, asumiendo algunos datos estáticos para poder observar el fenómeno.

Sean dos máquinas (X y Y) y sean dos productos demandados (A y B). La máquina X (no flexible) sólo puede producir el producto A y la máquina Y (flexible) puede producir cualquiera de los dos.

El análisis se hará basado en el EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization) de cada alternativa, sin involucrar la inversión inicial por el periodo tan corto (1 año) de análisis; por eso lo que se propone es calcular el valor máximo a pagar cuando se compra flexibilidad, basados en un valor presente.

Los costos fijos semanales de cada máquina y el costo de cambio (setup) de producto por unidad, para la máquina Y, se dan a continuación:

	Inv. Inic.	CF semanal	Setup (und) costo cambio
Máquina X		50.000	
Máquina Y		65.000	100

Asumiendo que la cantidad demandada de unidades es inferior a la capacidad de producción, se proponen para las próximas 52 semanas los siguientes pronósticos tanto de unidades a producir como del movimiento de los precios y costos por unidad (PVU y CVU) convirtiéndose así en las fuentes de incertidumbre. Los parámetros establecidos son los siguientes:

	Demanda		PVU		CVU	
Producto A	1.500	2.000	1.000	1.200	600	700
Producto B	1.000	1.500	1.200	1.400	600	750

Simplemente tomar una decisión de compra de alguna de las dos máquinas, con los parámetros establecidos y sus posibles comportamientos, sería más complejo si no se incurre en un análisis del tipo propuesto en el apartado anterior.

Si se escogiese la máquina X, el flujo de dinero cada semana sería el siguiente (se muestran 4 semanas pero no hay que olvidar que el ejemplo está basado en 52 semanas):

Semana	Flujo equivalente (MCU*Q) - CF
1	534.775
2	579.184
3	587.320
4	499.858
:	:
52	476.806

Teniendo en cuenta sus flujos (los 52) el valor presente se halla de la forma tradicional:

VP \$ 26.129.161

Para la máquina flexible la situación es otra. Es indispensable hallar su flujo equivalente basado en el valor de la opción y los costos asociados al cambio de producto (en flexibilidad esto se llama movilidad).

Teniendo en cuenta sus flujos (los 52) y los datos iniciales, el VP sería:

VP \$ 35.061.327

Como valor presente que es, ayuda en la elección de la mejor alternativa a partir de escoger el de mayor valor, pero adicional a esto se puede establecer el máximo posible a pagar por la *compra de sistemas flexibles* a través de la diferencia entre los dos valores presentes calculados.

MÁQUINA Y (Productos A y B)

Semana	Producto A				Producto B	Setup (A-B)	Valor opción		Flujo Equivalente 1+5
	Pronóstico unds	MCU	Flujos (\$)	Flujo equivalente (MCU*Q) - CF	Flujo equivalente (MCU*Q) - CF		2-3-1	Max (4;0)	
	1	1.725	339	584.775	519.775	765.368	123.200	122.393	122.393
2	1.856	447	829.632	764.632	884.980	142.000	-21.652	-	764.632
3	1.880	444	834.720	769.720	857.058	132.100	-44.762	-	769.720
4	1.622	366	593.652	528.652	725.914	136.600	60.662	60.662	589.314
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
52	1.554	503	781.662	716.662	704.420	124.100	-136.342	-	716.662

6. Conclusiones

- Se ha establecido que la flexibilidad es lo que más aproxima una empresa al ambiente competitivo global, ya que se puede decir que las condiciones determinantes de los requerimientos de flexibilidad están dadas por elementos tales como: La variabilidad de la demanda (aleatoria, estacional); Ciclos de vida muy cortos de los productos y la tecnología; Gran rango de productos; Incremento de los consumidores (consumo masivo) y Tiempos cortos de entrega; fundamentales para la dinámica vivida hoy.
- Normalmente los procesos de decisión tienen un carácter de tipo cíclico, es decir, las acciones de productos de decisiones tienen efectos que a su vez estimulan nuevas decisiones.
- La no consideración de las opciones que contiene un proyecto puede llevar a infravalorarlo y, en general, a desechar proyectos que se debían realizar o a realizar inversiones que se debían rechazar.
- La utilización de la metodología de las opciones reales, ha aportado una mayor comprensión en la formulación y articulación de las decisiones sobre la conveniencia o no de realizar un proyecto de inversión. Una de sus utilidades estriba en que a la hora de realizar un análisis ayuda a mantenerse alerta sobre si éste representa una respuesta exacta a un problema aproximado o una respuesta aproximada a un problema exacto.

- Desde un punto de vista genérico, adquirir, comprar o invertir en flexibilidad puede ser visto como adquirir un portafolio de opciones. Cada decisión de producción es tomada como una opción para cada producto a manufacturar en un tiempo determinado.
- Es apenas lógico que queden por estudiar muchas situaciones particulares. Entre otras, se pueden tener como referencia las siguientes (ANDREOU, 1990):
 - Demanda de productos A y B en conjunto (no uno o el otro) que estén por debajo de la capacidad dedicada;
 - Demanda de producto A por debajo de la capacidad dedicada, y demanda del producto B excediendo la capacidad dedicada, pero por debajo de la capacidad sumando la flexibilidad;
 - Demanda para productos A y B exceden la capacidad dedicada, pero el exceso de demanda está por debajo de la capacidad flexible;
 - Demanda de A y B exceden la capacidad dedicada y el exceso de demanda supera la capacidad flexible;
 - Precisamente, es la anterior conclusión el camino por donde debe seguir esta investigación acerca de la flexibilidad de las operaciones y su forma de evaluación. Ya que existen un sin número de situaciones que merecerían estudios y análisis muy dedicados que permitirían encontrar soluciones específicas a problemas generalizados en la industria.

7. Referencias bibliográficas

1. ANDREOU, S. A capital budgeting model for product-mix flexibility. En: Journal Of Manufacturing and Operations Management. Vol. 3, p. 5- 23. 1990.
2. BENGTTSSON, J. The Value of Manufacturing Flexibility: Real Options in Practice. Working paper – wp 262. En: Department of Production Economics Linköping Institute of Technology. 1999. 16 p.
3. BENGTTSSON, J. Manufacturing Flexibility and real options: A review. En: International Journal Production Economics, 74 p. 213 – 224. (2001).
4. BENGTTSSON, J. & OLHAGER, J. Valuation of product-mix Flexibility using real options. En: International Journal Production Economics. 78 p. 13 – 28. (2002).
5. D'SOUZA, D. & WILLIAMS, F. Toward a taxonomy of manufacturing flexibility dimensions. En: Journal Of Operations Management. No. 18. p 577-593, Enero 2000.
6. KYLÄHEIKO K.; SANDSTRÖM J. & VIRKKUNEN V. Dynamic capability view in terms of real options. En: International Journal of Production Economics. Vol. 80, Issue 1, p. 65-83, November 2002.
7. MANYOMA P (2006). Desarrollo de una metodología de valoración multiatributo para el análisis de decisiones de flexibilidad en sistemas de producción. Tesis Maestría en Ingeniería. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística. Cali, Colombia.