



MARIO JOSÉ MANTULAK (Compilador)

GESTIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN EN PEQUEÑAS y MEDIANAS EMPRESAS

**CONTRIBUCIONES DE
UNIVERSIDADES
LATINOAMERICANAS**



EDITORIAL UNIVERSITARIA

CAPÍTULO 6

UBICACIÓN DE PUNTOS DE DESACOPLE: UNA INNOVACIÓN EN PROCESOS PARA EQUILIBRAR EFICIENCIA Y FLEXIBILIDAD. APLICACIÓN EN UNA PYME MANUFACTURERA

Iván Darío Gómez Jiménez
William Sarache
Rafael Henao Arango

INTRODUCCIÓN

La industrialización tuvo su origen a principios de los años veinte (Harmsel, 2012). Esta época estuvo marcada por rupturas de antiguos paradigmas y mejoras en los sistemas de producción. Un ejemplo de este proceso fueron los cambios generados por Henry Ford quien, buscando reducir los costos de producción, revolucionó el concepto de líneas de ensamblaje (Di Pierri D, 2006), dando origen a un enfoque de producción denominado producción masiva (*mass production*).

Los grandes volúmenes que deben sostenerse en este tipo de sistemas de producción implican la participación en mercados de alto consumo que faciliten el aprovechamiento de economías de escala (Di Pierri D, 2006). No obstante, la literatura sostiene que las tendencias actuales de consumo dificultan cada vez más mantenerse dentro de este paradigma (Nahmens, 2007). En tal sentido, una revisión de la bibliografía –resumida en la Tabla 1– permitió identificar ocho exigencias que condicionan la aplicación de un enfoque de producción masiva.

Tabla 1. Exigencias de los mercados actuales

Autores	Tendencia							
	1	2	3	4	5	6	7	8
(Hsuan Mikkola & Skjøtt-Larsen, 2004)	X			X	X	X	X	X
(Skipworth & Harrison, 2004)	X	X		X		X	X	
(Y. Yang, Tian & Li, 2007)	X	X	X					
(Arroyo-Gutiérrez & Jiménez-Partearroyo, 2013)			X				X	
(Grabot, Vallespir, Gomes, Bouras & Kirirsis, 2014)			X			X		
(Mapes, 2002)			X					
(Fan, 2012)			X					
(Koren <i>et al.</i> , 1999)			X					
(Muriel, Anand Somasundaram & Yongmei Zhang, 2006)			X					
(P. Liu, Wang & Liu, 2011)						X		
(Di Pierri D, 2006)								X
(Hoek, 2001)				X		X	X	
(Jiao, Ma & Tseng, 2003)	X			X			X	
(Qin & Xiong, 2013)				X		X	X	
(Bernhardt, Liu & Serfes, 2007)	X			X			X	
(Chuang & Su, 2011)	X					X	X	
(Swaminathan, 2003)			X			X	X	
(D. Mourtzis, Alexopoulos & Chryssolouris, 2012)					X	X	X	
(Luft & Besenfelder, 2014)	X		X	X			X	
(Silveira, Borenstein & Fogliatto, 2001)	X	X				X	X	

Fuente: elaboración propia. (1) evolución de la tecnología; (2) aumento de la competitividad entre empresas; (3) globalización; (4) mercados dinámicos; (5) localización de la demanda; (6) reducción de ciclos de vida; (7) demanda diferenciada; (8) clientes más informados.

El análisis de las contribuciones que se citan en la Tabla 1 permite detectar que la competencia entre empresas ha mantenido un crecimiento progresivo impulsado por el desarrollo acelerado de la tecnología, el auge de la globalización, los mercados heterogéneos y el cambio rápido de las necesidades de los clientes, quienes

buscan variedad y productos individualizados (Ferguson, Olewnik & Cormier, 2014; Modrak, Marton & Bednar, 2015). Esta situación ha provocado altos niveles de incertidumbre en las ventas y, por tanto, dificultades en la planeación y control de la producción (Yang & Burns, 2003).

Tal y como lo señalan la European Commission (2010) y Ferreira *et al.* (2015) las empresas deben enfrentar un mercado mucho más complejo, más dinámico y con altos niveles de incertidumbre, lo cual genera dificultades operativas y pérdidas que repercuten en una baja competitividad y generan una relación desventajosa de precios (Yang, Burns & Backhouse, 2004; Jiang, 2012). Esta situación genera presiones en los sistemas de producción que, por un lado, deben hacer esfuerzos para reducir costos y, por otro, deben mantener o mejorar los niveles de servicio y los requerimientos de flexibilidad que impone el mercado (Skipworth & Harrison, 2004).

De acuerdo con Miltenburg (2009), existen siete configuraciones para el sistema de producción, cuya respuesta en términos de eficiencia (costo), flexibilidad y otras prioridades competitivas es bastante distinta. Por ejemplo, los sistemas lineales y continuos son apropiados para fabricación de productos estandarizados en altos volúmenes y con bajos costos (Arroyo-Gutiérrez & Jiménez-Partearroyo, 2013), pero no pueden ofrecer niveles adecuados de flexibilidad y, por tanto, son sistemas de producción falentes para responder a la personalización que exigen los clientes (Squire, Brown, Readman & Bessant, 2006). En contraste, los sistemas Job Shop proveen altos desempeños en términos de flexibilidad, pero su configuración no se presta para un mercado que presione por costos bajos (Squire *et al.*, 2006).

Esta situación en los sistemas clásicos de manufactura no permite abordar la dicotomía entre las necesidades de flexibilidad que exige el cliente y la importancia de reducir costos para hacer que la operación sea rentable. No obstante, como una tercera vía, el concepto de **personalización masiva** se expone como una solución para aquellas empresas que se ven enfrentadas a mercados de alta incertidumbre y alta competencia en precios (Rudberg & Wikner, 2004). De acuerdo con Chuang y Su (2011), la personalización masiva se ha convertido en una nueva frontera de la competencia empresa-

rial, tanto para la industria como para los servicios, pues esta permite alinear la estrategia de manufactura con las exigencias de eficiencia y flexibilidad del mercado.

La personalización masiva se relaciona con el concepto de *producción aplazada* (*production postponement*) (Hoek, 2001; Yang, Burns & Backhouse, 2004). El *aplazamiento* busca resolver las exigencias del mercado identificando el punto de penetración del cliente en el sistema de producción (Yang, Burns & Backhouse, 2004) de tal manera que se logre un desacoplamiento adecuado que, “aguas arriba”, facilite la obtención de los deseados niveles de eficiencia y, “aguas abajo”, los niveles de personalización que requiere el cliente. “Aguas arriba” del punto de desacople, la producción se programa bajo un enfoque fabricación para el inventario (*make to stock*) y “aguas abajo” bajo un enfoque de fabricación sobre pedidos en firme (*make to order*). Un problema importante en este enfoque es la ubicación adecuada del denominado punto de desacople. El punto de desacople (DP por sus siglas en inglés), se entiende como la ubicación física de inventario generado “aguas abajo” o *down stream* (ver Figura 1), a partir del cual el sistema responde a las exigencias de personalización que exija el cliente (Liu, Xu, Sun, Yang & Mo, 2013).

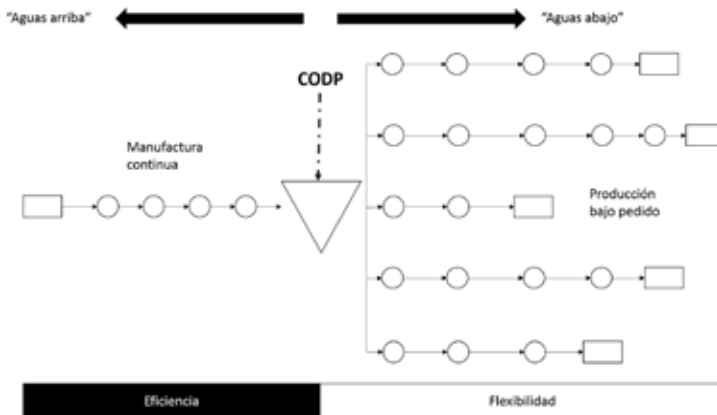


Figura 1. Representación esquemática del concepto de aplazamiento. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con Chuang y Su (2011) y Liu *et al.* (2014), la ubicación del punto de desacople es un asunto de alta relevancia para asegurar el éxito de una estrategia de aplazamiento, ya que este define el balance adecuado entre eficiencia y flexibilidad. Dicho balance, como lo sugiere la Figura 2, depende del punto de penetración del cliente en el proceso. Es decir, a mayor punto de penetración, el punto de desacople tenderá a ubicarse en operaciones más tempranas pues el sistema debe responder a mayores presiones en flexibilidad. En contraste, si el punto de penetración es más bajo, el proceso podrá lograr mayores niveles de estandarización.

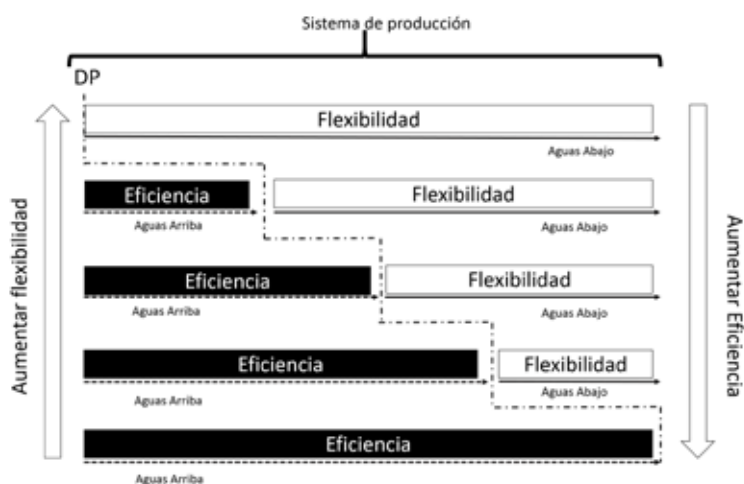


Figura 2. Influencia del punto de desacople en el equilibrio eficiencia-flexibilidad. Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, la alta dependencia en la relación eficiencia-flexibilidad con el punto de desacople, convierte el problema de su ubicación en una decisión estratégica orientada a la mejora y reconversión del proceso productivo que debe examinarse con detenimiento por parte de la empresa (Liu, Xu, Sun, Yang & Mo, 2013; Shidpour, Da Cunha & Bernard, 2014). Desde esta perspectiva –y dada la importancia del tema– se realizó una revisión de la bibliografía a partir de la indagación en las bases de datos de la

Web of Science y Scopus. Como resultado se detectó la existencia de diversas contribuciones orientadas a la ubicación de puntos de desacople, las cuales fueron agrupadas desde tres enfoques de solución: cuantitativo, cualitativo y mixto.

El enfoque cuantitativo, el más representativo en la revisión de la bibliografía, es aquel que sustenta su decisión a partir de constructos matemáticos que representan las relaciones entre diferentes variables con las cuales se pretende estudiar el comportamiento del sistema (Bangert, 2012; Murty, 2010). Pese a que la versatilidad y representatividad de las alternativas cuantitativas es alta, en la literatura se resaltan diferentes limitaciones que comprometen su funcionamiento en sistemas complejos y en la toma de decisiones estratégicas. Por ejemplo, no tienen en cuenta las relaciones existentes entre los datos de entrada (Kasperski, 2008), los modelos estocásticos pueden requerir múltiples asunciones que limitan el estudio (Kasperski, 2008), pueden llegar a demandar elevados recursos computacionales (Chand & Wagner, 2015) y no involucra datos cualitativos en su proceso.

Por otra parte, el enfoque cualitativo procede a partir de la participación directa de expertos e, igual que en el enfoque anterior, la literatura identifica algunas limitaciones en su proceso. Por ejemplo, los desacuerdos entre los expertos pueden causar diferentes resultados en las evaluaciones (Yu, 1973), las decisiones en grupos grandes puede llegar a ser muy complejas e improductivas (Rigopoulos, Karadimas & Orsonni, 2008) y las decisiones hechas por un solo experto son riesgosas dado que, en problemas grandes, la capacidad de análisis puede verse comprometida (Herrera, Herrera-Viedma & Verdegay, 1997).

Finalmente, los modelos del enfoque mixto permiten incluir de forma conjunta la evaluación de criterios cualitativos y cuantitativos. Sin embargo, para el caso de los modelos detectados en la revisión de la bibliografía –sin precisar en las limitaciones individualizadas que se le pueden atribuir a cada uno– se resalta, como restricción principal, la participación limitada de los expertos en el proceso de toma de decisiones. A partir de lo anterior, se identifica que, a pesar de la existencia de diferentes modelos destinados a ubicar el punto de desacople, es pertinente proponer soluciones

que no solo permitan incluir variables cualitativas y cuantitativas, sino que además faciliten la participación activa de los decisores involucrados.

El presente capítulo expone la aplicación de una metodología de tipo multicriterio que involucra la participación de expertos para la ubicación de puntos de desacople. Para su aplicación, se seleccionó una empresa de tamaño medio del sector de fabricación de muebles de madera con altas presiones de flexibilidad en el surtido, pero a su vez, compitiendo en un mercado que presiona por precios. La metodología permitió orientar la toma de decisiones en el desacoplamiento del sistema productivo, facilitando la participación del personal directivo de la empresa con miras a asegurar su viabilidad en la puesta en marcha.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se aplicó la metodología multicriterio desarrollada por Gómez, Henao-Arango & Sarache (2017). Esta metodología fue validada previamente en nueve líneas de producción de una empresa del sector metalmecánico enfocada la eficiencia, pero con presiones permanentes para mejorar los niveles de personalización. En la presente contribución, se pretende demostrar su aplicabilidad en un sistema centrado en la flexibilidad, pero presionado hacia el logro de mejores desempeños en eficiencia (Ver Figura 3).

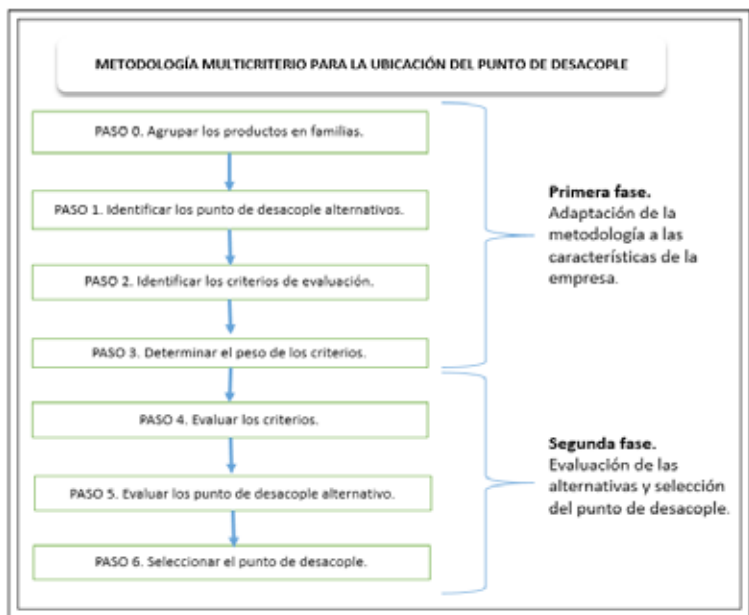


Figura 3. Hilo conductor de la metodología. Fuente: elaboración propia.

La Figura 3 muestra el hilo conductor que define la metodología, la cual se divide en dos fases principales. En la primera fase, se seleccionan los puntos de desacople alternativos y los criterios de evaluación. En esta fase, y con la participación de expertos, se busca adaptar la metodología a las necesidades y características de la empresa. En la segunda fase, se evalúan cada una de las alternativas de ubicación del punto de desacople a partir de los criterios seleccionados.

Paso 0. Agrupar los productos en familias

En este paso se identifican los productos que cumplen con los requerimientos para ser desacoplados en el proceso, agrupandolos en familias. Posteriormente, se implementa la metodología en un

producto de cada familia (producto madre) y los resultados son generalizados para toda la familia de productos.

Paso 1. Identificar los puntos de desacople alternativos (ADP)

La ubicación del punto de desacople es una decisión influenciada por muchos factores relevantes de los sistemas de producción y, en general, por las características de todo el sistema (Verdouw, Beulens, Bouwmeester & Trienekens, 2008). Por esta razón, se proponen 3 subpasos que facilitan la selección de los puntos de desacople alternativos (ADP por sus siglas en inglés).

1.1 Seleccionar factores

Se identifican los factores que afectan la selección de los ADP para cada empresa en particular. Acorde con Verdouw *et al.* (2008) y Xu (2007), algunos factores típicos son: el producto (diseño, materiales), configuración de los procesos (secuencia de las operaciones, operaciones críticas, operaciones de ensamble) y requerimientos de los clientes (personalización).

1.2 Seleccionar los expertos para identificar los ADP

Se selecciona un grupo de expertos que tengan la experiencia y conocimientos para asignar los diferentes ADP a cada una de las referencias madre. Es importante señalar que, en este caso, no se exige un número mínimo de expertos.

1.3 Seleccionar los ADP

Basados en los conocimientos y la experiencia, el grupo de expertos debe establecer una lista de ADP para cada familia de productos.

Paso 2. Identificar los criterios de evaluación

En este paso se deben seleccionar los criterios a partir de los cuales se calificarán los diferentes ADP. Es recomendable basarse en la literatura especializada y tener acompañamiento de un experto que conozca las generalidades de toda la empresa.

Paso 3. Determinar el peso de los criterios

Este proceso permite jerarquizar la importancia que tiene cada uno de los criterios seleccionados y, de esta manera, alinearlos con las características y necesidades de la empresa objeto de estudio. Para esta metodología, se proponen dos métodos de ponderación subjetivos: la ponderación simple y el triángulo de Fuller modificado. Estos son ejecutados de forma paralela y posteriormente son unidos para obtener un solo resultado.

3.1 Seleccionar los expertos para la priorización de los criterios

En esta sección se debe hacer una nueva selección de expertos. Estos expertos tienen que evaluar los diferentes criterios seleccionados con el fin de jerarquizar su importancia relativa. El número de expertos puede fluctuar entre 7 y 50 (Muskat, Blackman & Muskat, 2012; Sarrache-Castro, Costa-Salas & Martínez-Giraldo, 2015).

3.2. Ponderación subjetiva I (Ponderación simple)

Cada experto debe establecer una importancia relativa de los criterios. Para ello debe utilizar una escala del 1 a n (n : número de criterios). En este caso se debe asignar n al criterio que se considera más importante y así sucesivamente, hasta llegar a 1 que es el menos importante. Es necesario tener en cuenta dos recomendaciones: en primer lugar, los números no se deben repetir. Segundo, en el caso de considerarse dos criterios con la misma importancia,

se debe hacer un promedio entre los dos valores próximos y asignarles a ambos criterios el promedio. Posterior a la calificación de cada uno de los criterios por parte de todos los expertos, se aplica la Ecuación 1. En esta se obtiene un peso porcentual de importancia para cada uno de los criterios.

$$W_{jA} = \frac{\sum_k C_{jk}}{\sum_j \sum_k C_{jk}} \quad (1)$$

Donde:

C_{jk} : Importancia relativa del criterio j dado por el experto k .

W_{jA} : Pesos subjetivo I del criterio j .

3.3 Test de concordancia

El índice de concordancia de Kendal (W) es utilizado para evaluar el nivel de acuerdo entre los expertos. Este permite medir si los juicios generados por cada experto están en consenso. Si W es igual o superior a 0.5, la ponderación es validada. W puede ser calculado como sigue (Muskat *et al.*, 2012; Sarache-Castro *et al.*, 2015):

Cálculo del valor medio de los rangos (T):

$$T = \frac{M(n+1)}{2} \quad (2)$$

Cálculo de la desviación para cada criterio (D_2).

$$D^2 = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^M (C_{jk}) - T \right)^2 \quad (3)$$

Cálculo del índice de Kendal (W):

$$W = \frac{12 \sum D^2}{M^2 (n^3 - n)} \quad (4)$$

Donde:

n: Número de criterios.

M: Número de expertos.

3.4 Ponderación subjetiva II (triángulo de Fuller modificado)

Para obtener la ponderación por medio del triángulo de Fuller modificado se hace una comparación pareada entre los diferentes criterios (Sarache, Hoyos Montoya & Burbano J, 2004). En ésta las posibles calificaciones son 1 para el criterio que el experto considere más importante y en otro caso se asigna 0 (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Comparación pareada entre los criterios, dado por el experto k.

Criterio	Criterio ₁	Criterio ₂	...	Criterio _n
Criterio ₁	1	P _{12k}	...	P _{1nk}
Criterio ₂	P' _{12k}	1	...	P _{2nk}
....
Criterion	P' _{1nk}	P' _{2nk}	...	1

Donde:

P_{jik} : preferencia del criterio j respecto al criterio i , de acuerdo al experto k .

P'_{jik} : complemento lógico binario de P_{jik} .

$[i,j]$ subíndices de los criterios $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

$$0 \leq P_{jik} \leq 1$$

Si $P_{jik} = 0$ entonces $P'_{jik} = 1$

Si $P_{jik} = 1$ entonces $P'_{jik} = 0$

Al aplicar la Ecuación 5 se obtiene la ponderación subjetiva II para cada uno de los expertos por separado.

$$W_{jBk} = \frac{\sum_i P_{jik}}{\sum_j \sum_i P_{jik}} \quad (5)$$

Donde:

W_{jBk} : ponderación subjetiva II de criterio j , dada por el experto k .

Debe tenerse en cuenta que, como se muestra en la Tabla 2, la matriz de comparaciones pareadas debe ser completada por cada uno de los expertos. Como resultado, se obtendrá un vector de pesos por cada uno de los expertos. Estos valores son combinados con una ponderación geométrica como se ve en la Ecuación 6.

$$W_{jB} = \frac{\sum_k W_{jBk}}{\sum_j \sum_k W_{jBk}} \quad (6)$$

Donde:

W_{jB} : ponderación subjetiva II del criterio j .

3.5 Determinar ponderación final

Para obtener la ponderación final de cada criterio, se debe combinar el resultado obtenido por las dos técnicas previas a partir de la Ecuación 7 (Sarache, Hoyos Montoya & Burbano J, 2004):

$$W_{jD} = \frac{W_{jA} W_{jB}}{\sum_{j=1}^n (W_{jA} W_{jB})} \quad (7)$$

Donde:

W_{jD} : Ponderación final del criterio j .

Paso 4. Evaluar los criterios

Normalmente los criterios pueden ser cualitativos o cuantitativos. Esto implica que la valoración de cada uno de ellos depende de sus características. En este sentido, los criterios cuantitativos son aquellos que se pueden medir fácilmente y, típicamente, se encuentran registros estadísticos en la compañía. En contraste, los criterios cualitativos son factores asociados a la experiencia de la empresa que, aunque no siempre son medidos, afectan la ubicación del punto de desacople.

Como se muestra en la Figura 4, existen dos alternativas para evaluar los criterios acorde a su clasificación. En el caso de criterios cuantitativos, la información puede ser obtenida directamente de las estadísticas de la empresa o, en su defecto, a partir de su medición. Para los criterios cualitativos se propone el uso de la técnica AHP, ya que esta permite transformar en datos numéricos los conocimientos y experiencia de las personas involucradas.

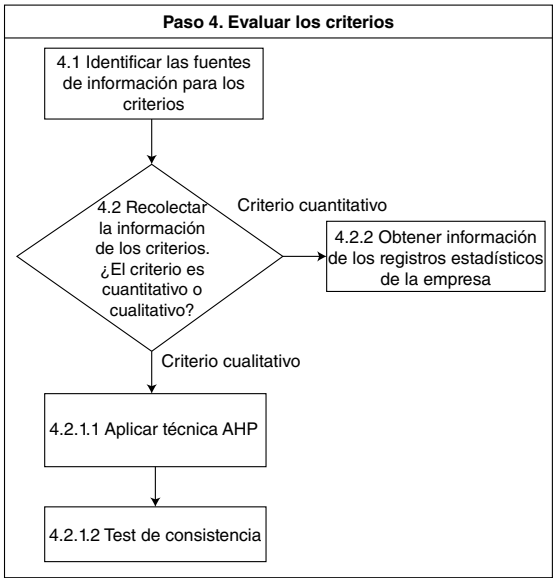


Figura 4. Procedimiento para la evaluación de criterios. Fuente: elaboración propia.