

Teoría de las Limitaciones

Pocas teorías han sido tan rebatidas en los últimos años como las expuestas por Eliyahu Goldratt en su libro *La Meta*. Todos los analistas en temas de producción tienen su propia opinión al respecto y están muy repartidas, tanto a favor como en contra.

Lo que resulta incuestionable es que las ideas de Goldratt, tomadas en su justa medida, resultan prácticas para todas las empresas y las aplicaciones exitosas de los pasos descritos en su libro son numerosas.

En este tema se analizará en detalle la Teoría de las Limitaciones aplicada a la producción. El concepto de cuello de botella, tan antiguo como la producción en línea, ha sido explotado y analizado por Goldratt hasta el punto de que parece que lo hubiera inventado él.

Tomadas con las debidas precauciones, las ideas de Goldratt ofrecen importantes beneficios en la planificación de la producción.

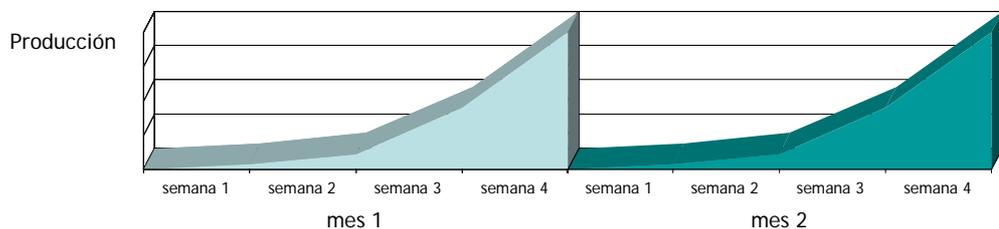


Introducción

En primer lugar, es conveniente situar históricamente el nacimiento de la Teoría de las Limitaciones para entender el éxito puntual que supuso (y que hoy en día sigue teniendo en algunos sectores).



A finales de los 70, en Japón, triunfan las herramientas del Just In Time (JIT), desarrolladas, entre otros, por Taiichi Ohno y Shigeo Shingo. Lamentablemente, el ritmo de difusión de la bibliografía en la que se detalla la forma de implantar el JIT en las empresas era extremadamente lento. Sirva de ejemplo un libro dedicado a la QFD (Quality Function Deployment) que comenzó a desarrollarse en 1972: Hasta 1978 no se escribió en japonés y hubo que esperar hasta 1994 para conseguirlo en inglés.



En la época del Just in Time japonés, en Europa, el MRP estaba implantado pero no funcionaba como se esperaba. Se creía que eran las empresas las culpables de los fracasos de implantación ya que el método se consideraba correcto. En las empresas se producía el síndrome de final de mes (o fenómeno de los palos de Hockey)

Según este fenómeno, el ritmo de producción de las empresa evoluciona siguiendo la silueta de un palo de hockey, haciéndose, en la parte final del mes, auténticos esfuerzos para conseguir fabricar las unidades prometidas.

Los intentos de implantar el Just in Time también fracasan, debido a la falta de técnicas claras de aplicación de las metodologías que exige esta filosofía.

En ese momento aparece Eliyahu Goldratt, una figura que pasará, al igual que Ohno y Shingo, a la historia como uno de los artífices de las revoluciones en la forma de trabajo del siglo XX.

Entre 1985 y 1988, Goldratt escribe *La Meta* y *La Carrera*. El primer libro está escrito en forma de novela, y se aprovecha el hilo argumental para desglosar los puntos fundamentales de la Teoría de las Limitaciones (también denominada fabricación sincronizada u OPT).

Sin embargo el simulador que ha desarrollado el Instituto Goldratt, y que está basado en el "Disaster", resulta una herramienta didáctica muy completa.

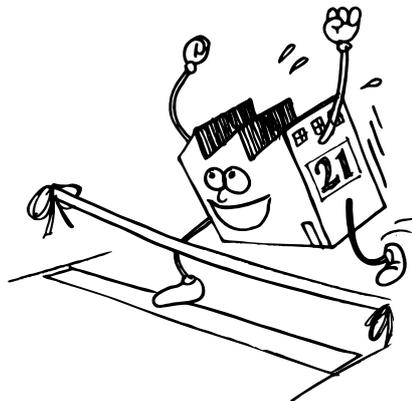


Meta de una empresa

La novela de Goldratt presenta el caso de una planta con problemas de gestión liderada por un joven empresario. Ante la amenaza de un cierre inminente de las instalaciones el gerente comienza a buscar la solución a los problemas de la fábrica.

En un aeropuerto coincide con un antiguo profesor de física que le ayuda a dirigir bien los primeros pasos del proceso de mejora. Para ello, más que ofrecerle soluciones, guía al protagonista planteándole preguntas.

La primera pregunta parece fuera de lugar, ya que le pide que recapacite sobre la meta de la empresa, sin embargo, el objetivo de la pregunta es claro: No se puede mejorar si no se sabe cuál es el objetivo último que se persigue con la mejora.



Las posibles respuestas a esta pregunta parecen infinitas y dependerá de cada caso ¿o no?

- *¿Podría ser reducir costes?* En el límite (no alcanzable) el coste de la empresa sería cero y, parece poco razonable, tener un objetivo limitado.
- *¿La supervivencia?* Resulta un objetivo demasiado pesimista.
- *¿Mejorar el servicio a los clientes? ¿Aumentar la tasa de mercado?* Muchas son las posibles candidatas a ser la meta de la empresa, pero a todas ellas se les pueden encontrar limitaciones o problemas.

Según Goldratt la meta de una empresa es ganar dinero, ahora y en el futuro. Los empresarios invierten su dinero en una empresa en lugar de hacerlo en el banco para obtener una mayor rentabilidad.

Puede parecer una meta fría. ¿Dónde quedan el compromiso con la sociedad y con las personas? Tomada en su contexto se pueden extraer consecuencias de esta meta que sí tienen en cuenta a la sociedad y a las personas.

Lo que sí está claro es que, si la meta es ganar dinero, todo lo que se haga para llegar a esta meta estará bien, y todo lo que aleje a la empresa de esta meta será negativo.

Obstáculos a la meta

Mark Twain dijo, *“el sentido común es el menos común de los sentidos”*. Si el objetivo está claro, y no se dan los pasos necesarios para acercarse a él, es porque hay algo que lo impide.

Ese obstáculo que impide que la empresa alcance su meta son las limitaciones del sistema (en inglés, constraints). Estas limitaciones puede ser una política de ventas o de contratación; también puede ocurrir que la limitación sea el mercado; pero lo más frecuente es que la limitación se encuentre dentro del sistema productivo, es decir, que exista un recurso con capacidad insuficiente.

Esos recursos son los cuellos de botella y marcan el ritmo de la producción. La idea de cuello de botella es muy gráfica y, aunque no es original de Goldratt, ha sabido adjudicarse el concepto.



Otro obstáculo importante que aparece en las empresas es Murphy. Nadie sabe el motivo de por qué se cumplen la mayoría de las Leyes de Murphy. Muchas veces se trata de percepciones subjetivas y siempre en situaciones negativas. En esos

momentos nadie recuerda la suerte que tuvo para aparcar el coche cuando llegaba tarde a una cita, por ejemplo.

Sin embargo, Goldratt mantiene que una de las Leyes de Murphy, concretamente, *“Las cosas siempre van mal en el peor momento posible”* se cumple a menudo en las empresas. Tanto es así que se llega a hablar de un operario especial (Murphy), que trabaja sin cobrar, y que su tarea consiste en estropear las máquinas en el momento más inoportuno, o ayudar a un operario imprescindible a ponerse enfermo la víspera de un día crucial.

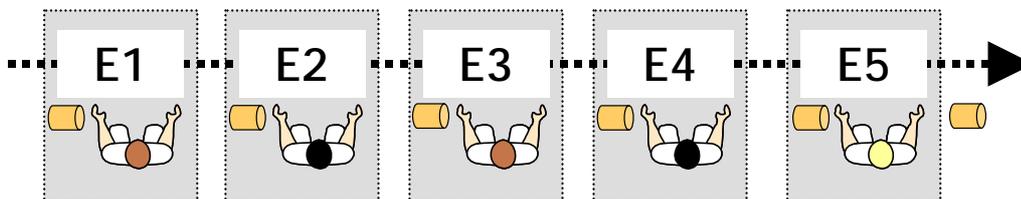


Fundamentos del DBR

El síndrome de los palos de hockey es una consecuencia del desconocimiento de un principio que se cumple en todas las empresas de producción en serie: Las fluctuaciones aleatorias son irrecuperables si los sucesos son dependientes.

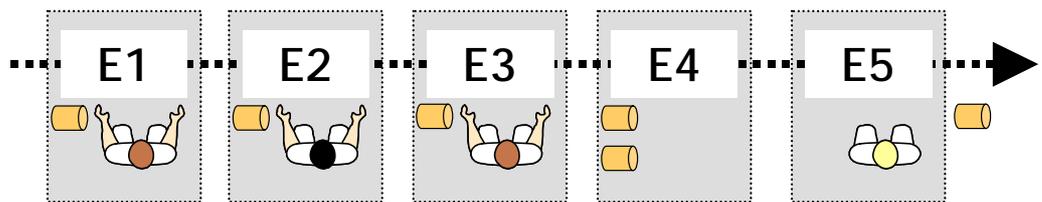
Algunos procesos industriales se pueden considerar dependientes, es decir, una etapa de producción depende de la etapa anterior ya que, si ésta última no le envía material, no puede procesarlo.

Las pequeñas variaciones de tiempo que se producen no se pueden recuperar. Para entender este concepto se puede poner el siguiente ejemplo en una línea de producción que dispone de 5 máquinas idénticas, con una capacidad de 1 unidad por hora.



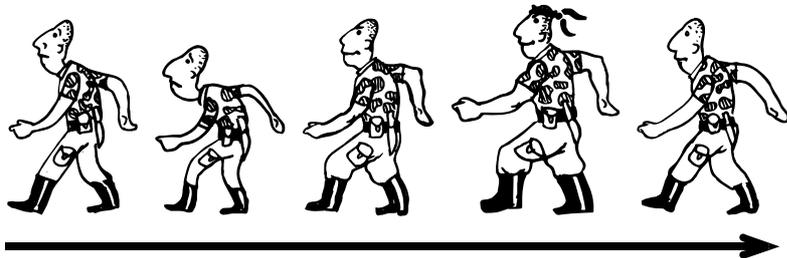
Si se estropea una máquina durante una hora la línea nunca será capaz de recuperar ese tiempo y la producción será menor que la esperada.

Estos pequeños desajustes en el tiempo de producción (que no tienen por qué ser tan acusados como una avería) se producen a menudo durante el mes, por lo que al final de este intervalo, la planificación prevista no se cumple. El indicador que permite controlar la evolución de esas pequeñas paradas o pérdidas de rendimiento ya se estudió.



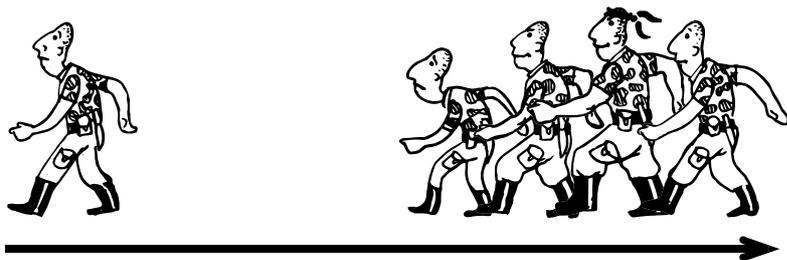
Para solucionarlo, las empresas recurren a aumentar el inventario en proceso colocando piezas en espera de ser procesadas delante de todas las máquinas, de forma que, si una de ellas se estropea, las demás no se vean obligadas a parar.

En empresas más complejas no resulta sencillo comprobar este principio y Goldratt recurre a un ejemplo militar para demostrarlo. Además, servirá como base para la metodología de trabajo que propondrá. En el ejemplo, el material fluye en sentido contrario a la marcha de los soldados.



En la formación anterior de soldados el tamaño de cada uno refleja su capacidad para caminar. Lógicamente, la forma física de algunos soldados es superior a la de otros y, aunque el ritmo sea constante, la distancia entre ellos variará.

Si, por algún motivo, uno de los soldados se retrasa, los que están después de él en la fila también lo harán, abriéndose un hueco entre el soldado anterior a la parada y el resto del pelotón. Si el soldado retrasado tiene fuerza suficiente será capaz de cerrar el hueco abierto, pero ¿podrán todos los soldados retrasados unirse al grupo de cabeza?



Lo mismo sucede en las fábricas. Algunos recursos sufren variaciones en su ritmo de trabajo debido, por ejemplo, a la falta de material, a una avería, a desviaciones

en el tiempo de producción,... La mayoría de estas fluctuaciones no pueden eliminarse por completo y, por tanto, se debe buscar la solución de otra forma.

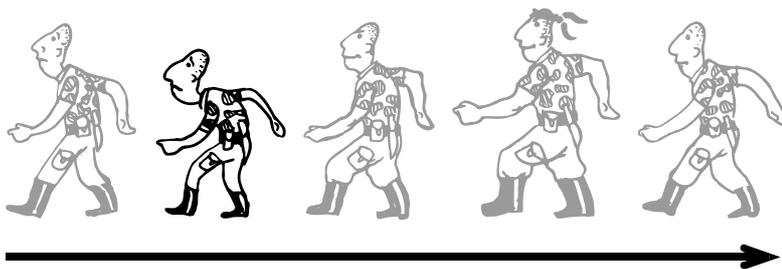
Con el objetivo de ayudar a las empresas en su camino hacia la meta, Goldratt desgrana en su libro *La Meta*, una metodología llamada **DBR** (formado por las iniciales de **Drum, Buffer, Rope**) que resulta ser la aplicación de su Teoría de las Limitaciones al área de producción.

La técnica del DBR consta de cinco pasos fundamentales que, en los siguientes puntos, se describen en detalle:

- 1.- Identificar el cuello de botella.
- 2.- Decidir cómo explotar el cuello de botella.
- 3.- Subordinar todo a la decisión anterior.
- 4.- Elevar el cuello de botella.
- 5.- Si se ha eliminado el cuello de botella volver al paso 1.-

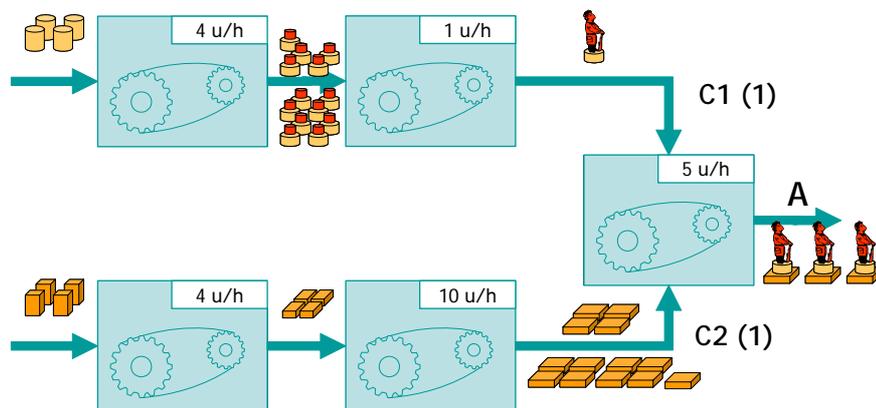
Identificar el cuello de botella (CDB)

El cuello de botella es el recurso con capacidad limitada. Según Goldratt sólo existe un recurso con la capacidad más pequeña.



Para localizarlo se puede analizar el cociente entre la carga y la capacidad de los recursos. Se entiende por **carga** la suma del tiempo de procesamiento y el tiempo de cambio de los trabajos asignados a la máquina. La **capacidad** es el tiempo del que dispone el recurso para realizar esa tarea.

También se puede descubrir visualmente, porque será una máquina con mucho inventario pendiente de procesar.



Hay que tener en cuenta que es posible que delante de una máquina se acumule inventario por culpa del cuello de botella. Es el caso de M5: el inventario de C2 es elevado, pero no es debido a la falta de capacidad de la máquina, sino a la falta de componentes C1. El auténtico cuello de botella del sistema es M3.

Decidir cómo explotar el CDB

Si la tasa de producción de toda la planta viene fijada por la capacidad del cuello de botella, un minuto ganado en un cuello de botella es un minuto ganado en todo el sistema. Por tanto, no interesa que se pare el cuello de botella. La forma de explotar este recurso es evitar, a toda costa, que se pare.

Puede ocurrir que la capacidad del sistema no sea suficiente para fabricar todos los productos que se demandan, y habrá que elegir los más beneficiosos para la empresa. Al contrario de lo que puede parecer, no siempre el producto con mayor beneficio unitario es el elegido.

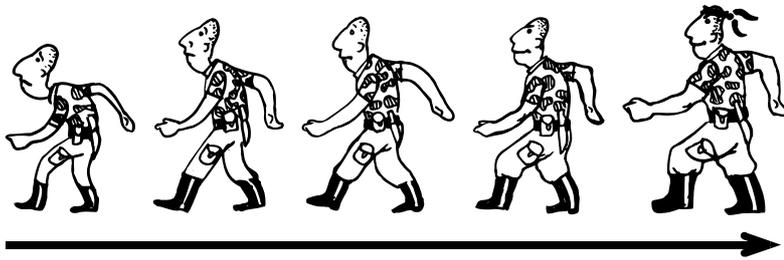
Para Goldratt, el producto más beneficioso será aquel que reporte un mayor beneficio por unidad de tiempo de cuello de botella, es decir, si un producto no emplea la máquina que limita el sistema se deberá producir todo lo posible, pero, si existen varios que comparten este recurso, el producto elegido será el que aproveche mejor el tiempo del cuello de botella.

Si la máquina con menor capacidad no puede detenerse nunca, su programación será la más importante de la fábrica. Por lo tanto, no es necesario vigilar todas las máquinas, sólo el cuello de botella, para comprobar si se cumplen, o no, los plazos previstos.

Subordinar todo a la decisión anterior

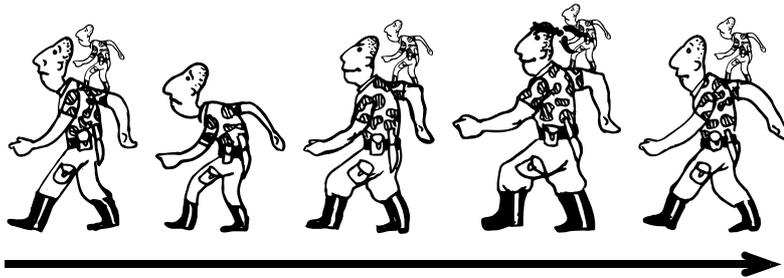
Si el cuello de botella limita la producción total del sistema, no tiene sentido producir más de lo que la limitación puede absorber. La mejor manera de controlar

el sistema sería disponer el cuello de botella en el primer lugar del proceso de fabricación. De esta forma las piezas procesadas por esta máquina fluirían sin problemas hasta el almacén de productos terminados.



Lamentablemente en los procesos industriales, no pueden colocarse las máquinas en el orden que se quiera, y las restricciones del proceso obligan a respetar una secuencia de operaciones fija.

Lo que sí es posible es que el cuello de botella marque el ritmo al que deben suministrarse la materia prima, es decir, que sea el tambor del sistema (Drum).



Las demás máquinas deben trabajar para que el cuello de botella no se pare, lo que obligará a aumentar el número de cambios, ya que la secuencia óptima de trabajo del cuello de botella no coincidirá con la del resto de máquinas.

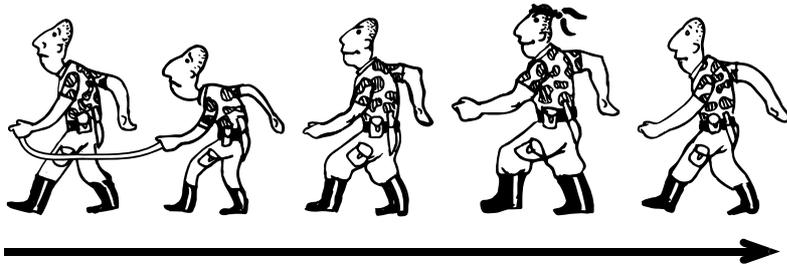
Como consecuencia de lo anterior, bajará el factor de utilización de las demás máquinas y, debido a los sistemas de control de muchas empresas, el resultado global de la instalación, en lugar de ser mejor, empeorará, aunque la realidad sea diferente. Por este motivo Goldratt propone cambios en la forma de gestionar las empresas.

El sistema de planificación propuesto se llama PULL-PUSH. El funcionamiento del sistema, bajo estas condiciones debería ser el siguiente: Cuando el material llega a la línea las máquinas deberán procesarlo lo antes posible hasta llegar al cuello de botella (PULL). Una vez que se procesa en él las máquinas hasta el final del proceso deberán trabajar lo antes posible, ya que así antes se entregarán al cliente (PUSH).

Si la planificación de las demás máquinas se realiza de forma que, en el momento en que se necesitan en el cuello de botella, las piezas lleguen justo a esa

máquina es probable que, en más de una ocasión, la limitación se detenga por falta de material, como consecuencia del fenómeno de los palos de Hockey.

Para evitar que se pare el cuello de botella, hay que protegerlo, y para ello se recurre a un **Buffer** de tiempo, es decir, ¿cuánto antes se quiere que el material llegue a la máquina?



El Buffer y el tiempo de procesamiento de las piezas en las máquinas anteriores al cuello de botella fija el tamaño de la cuerda (**Rope**) que se lanza al primer punto de la línea.

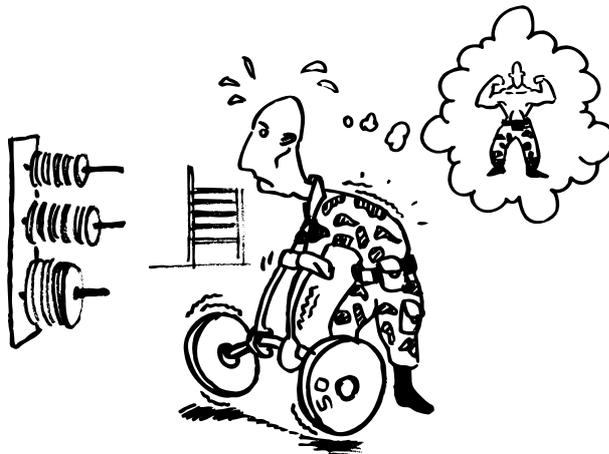
La determinación del tamaño del buffer es compleja, ya que no existe una fórmula matemática para calcularlo. Su valor depende de numerosas variables, algunas difíciles de cuantificar:

- Tiempo de procesamiento y preparación.
- Averías.
- Flexibilidad.

Generalmente se estima, y suele hacerse coincidir con un turno de trabajo, o medio turno, para simplificar su gestión. Así, al terminar un turno se deberían tener procesadas, y en espera delante del cuello de botella, las piezas que se procesarán en el turno siguiente.

Elevar el cuello de botella

Si se quiere aumentar la producción de todo el sistema es necesario aumentar la capacidad del cuello de botella.

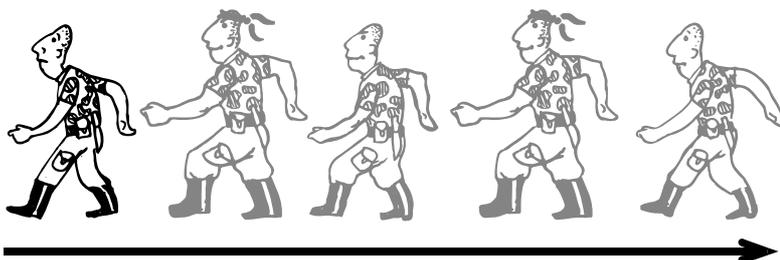


Existen numerosas maneras de conseguirlo. La opción elegida dependerá, en gran medida, de los costes.:

- Mejorar la eficiencia global del equipo (OEE).
- Evitar que se procesen en el cuello de botella artículos defectuosos.
- Buscar otra máquina similar dentro de la fábrica o comprar una nueva.
- Reajustar los tamaños de lotes de procesamiento.
- Subcontratar parte de los pedidos (sólo la operación crítica).
- Puede ser conveniente comprar, en lugar de producir, algún artículo para aliviar el cuello de botella.

El último paso del DBR

En el supuesto de que se haya conseguido aumentar la capacidad del cuello de botella, mediante cualquiera de los métodos descritos, ya no será necesario seguir mejorando la misma máquina. No hay que dejarse llevar por la inercia y se debe buscar el siguiente cuello de botella. Esta etapa de la metodología DBR busca la mejora continua en los métodos de trabajo.



Al final del proceso, la limitación abandonará la planta de producción, y será entonces el mercado el punto que deberá abordarse. Al conseguir nuevos pedidos es posible que surja un nuevo cuello de botella en el proceso productivo. Este ciclo de mejora no tiene fin.

Puntos débiles del DBR

La metodología descrita en el apartado anterior resulta de utilidad en un gran número de situaciones, sin embargo, no es aplicable a sistemas complejos.

En algunas empresas el cuello de botella depende del mix de producción que se fabrique. En cada una de las programaciones la restricción es sólo una, pero, lamentablemente, no siempre es la misma. Por tanto, aunque la detección podría resultar sencilla, no lo es tanto la posibilidad de elevar su capacidad, ya que supondría elevar la capacidad de toda la empresa.

Para evitar este problema, la filosofía Just In Time propone formar líneas de fabricación por familias de productos y nivelar la producción. De esta forma, el cuello de botella por línea suele ser único e independiente de la secuencia de producción. Por desgracia, no siempre es posible agrupar los productos en familias.

El caso de cuellos de botella móviles tampoco se resuelve en la Teoría de las Limitaciones. En algunas empresas muchos productos no tienen rutas fijas debido a que existen máquinas alternativas. Es, por ejemplo, el caso de empresas dedicadas a la mecanización de piezas.

Las ideas propuestas por Goldratt parecen tan lógicas que todas las empresas deberían aprovecharlas para mejorar. Si bien es cierto que la cultura de la búsqueda de los cuellos de botella está muy extendida entre los responsables de la producción, las ideas del libro *La Meta* no se han aceptado como a Goldratt le gustaría.

En una conferencia ofrecida en 1999 en La Coruña, Goldratt ofreció las conclusiones que había sacado con el paso del tiempo sobre los problemas de difusión de su teoría.

Según Goldratt, algunas empresas implementaron con éxito TOC en algún departamento (dependiendo del libro que leyeron) pero no se difundió al resto. Incluso, en algunas de ellas, y en sólo 3 años, las mejoras logradas gracias a esta teoría desaparecieron.

Parece ser que *La Meta* se convirtió en un libro de culto para las empresas. Una historia fantástica que todo el mundo comenta y se identifica con el personaje pero nadie se atreve a implantarlo. Tan sólo un 2% del 50% de empresas que lo han leído lo ha implantado.

Parecería, entonces, que sólo es aplicable a talleres con producción repetitiva, pero no es cierto, la filosofía se puede aplicar a todo tipo de empresas y son numerosos los casos de aplicación de estos principios.



Fundamentos de la TOC

En el momento en que desaparezca el último cuello de botella, es decir, cuando la capacidad sea suficiente para satisfacer la demanda, la limitación pasa a estar en el mercado.

Entonces el DBR ya no sirve, pero los pasos fundamentales sí. No se sabe qué fue primero, si la formulación de las cinco etapas de la metodología DBR, o los de la Teoría de las Limitaciones (TOC). Los cinco pasos de la TOC son:

- 1.- Identificar la limitación.
- 2.- Decidir cómo explotar la limitación.
- 3.- Subordinar todo a la decisión anterior.
- 4.- Elevar la limitación.
- 5.- Si se ha eliminado la limitación volver al paso 1.-.

Como puede comprobarse la única diferencia es la sustitución de las palabras "cuello de botella" por la palabra "limitación".

Si bien las etapas para resolver el nuevo problema surgido son las mismas, no lo serán las técnicas que deben utilizarse para elevar la limitación... pero queda fuera del alcance de esta materia.



Bibliografía recomendada

La Meta.

E. Goldratt, Díaz de Santos, Madrid, 1993

Novela con la que Goldratt describe la Teoría de las Limitaciones. Resulta un libro básico en cualquier biblioteca de producción. Su lectura propicia una nueva forma de ver la realidad de las empresas.

La Carrera.

E. Goldratt, Ediciones Taular, Madrid, 1988

Libro basado en el anterior que presenta, ahora en forma de transparencias, la Teoría de las Limitaciones. Sin ser tan interesante como el otro sirve para hacer una lectura rápida de los conceptos de La Meta.