



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: D. Francisco Ángel Marín Martínez
Director: Dr. D. Francisco Campuzano Bolarín

Cartagena, Mayo de 2019

A Virginia . . .

Índice general

Índice de figuras	5
Índice de gráficas	6
1.Introducción	7
1.1.Resumen	7
1.2.Objetivos del trabajo.....	10
2.La importancia del tiempo en la industria actual.....	11
2.1.El tiempo	11
2.2.Definición de Quick Response Manufacturing (QRM)	12
2.3.Relación entre QRM y otras estrategias.....	14
2.4.El impacto de la variabilidad en un sistema perfecto.....	19
2.5.Los tres pilares del QRM	19
3. El primer pilar del QRM: Gestión del tiempo	20
3.1.El enfoque coste-tiempo.....	20
3.2.Tiempo de ruta crítica de fabricación (MCT o Manufacturing Critical Path Time).....	23
3.3.Derroches en la empresa debido a largos MCT	25
3.4.QRM frente a los sistemas contables tradicionales.....	27
4.El segundo pilar del QRM: Estructura organizativa ágil	31
4.1.Principal reto del QRM: Reducción del lead time	31
4.2.Cambios estructurales para la respuesta rápida	32
4.2.1.Clave 1: Organización en células QRM.....	34
4.2.2.Clave 2: Propiedad del equipo	36
4.2.3.Clave 3: Inversión significativa en capacitación polivalente	37
4.2.4.Clave 4: Focalizado en la reducción de MCT	39
4.3.El número QRM.....	39
4.4.Nuevas estructuras organizativas. Áreas autogestionadas de alta responsabilidad.....	40
4.5.Estructuras organizativas ágiles.....	44
4.6.Autogestión para la creación de equipo en QRM.....	47
4.7.Evolución o “revolución” de la estructura organizativa	56
5.Tercer pilar del QRM: la dinámica de sistemas	59
5.1.Introducción.....	60
5.2.Fundamentos de la dinámica de sistemas	62
5.3.La variabilidad y la alta utilización	66
5.4.Ley de Little y Fórmula de Kingman	68
5.4.1.La Ley de Little	68
5.4.2.La Fórmula de Kingman	71
5.4.3.Resumen de la Fórmula de Kingman y la Ley de Little	76
5.5.Estrategias para reducir el lead time	77
5.5.1.Estrategias para reducir el factor amplificador de la variación “V”.....	77
5.5.1.1.Estrategias para reducir la variabilidad en las llegadas.....	78

5.5.1.2.Estrategias para reducir la variabilidad en los tiempos de proceso.....	79
5.5.2.Estrategias para reducir el efecto amplificador de la utilización “ $u/(1-u)$ ”	79
5.5.3.Estrategias para reducir el tiempo promedio de trabajo “T”.....	81
5.5.4.Impacto combinado de las estrategias para reducir el lead time.....	82
5.6.Planteamiento QRM para el dimensionamiento del tamaño de los lotes ...	83
5.7.Consecución del tamaño de lote óptimo.....	85
5.8.Impacto combinado de la reducción de configuración y los tamaños de lote sobre el lead time.....	88
6.Modelo dinámico para la obtención del lead time y el lote óptimo según la metodología QRM	90
6.1.Introducción.....	90
6.2.Descripción del modelo a simular.....	91
6.3.Objetivos de la simulación.....	92
6.4.Elaboración del modelo mediante Dinámica de Sistemas.....	92
6.4.1.Diagrama causal del modelo	92
6.4.2.Diagrama de Forrester obtenido mediante VenSim©.....	95
6.5.Validación y evaluación del modelo construido	101
6.6.Anexo	112
6.6.1.Ecuaciones modelo dinámico “Lead Time”.....	112
6.6.2.Ecuaciones modelo dinámico “Lote Óptimo”	117
7.Conclusiones.....	119
8.Bibliografía	131

Índice de figuras

Figura 1.La estrategia QRM mejora Lean	18
Figura 2.Sistemas basados en costes frente a los de tiempo	21
Figura 3.Impacto de una célula QRM en relación al coste actual y al estándar	29
Figura 4.Impacto de QRM a largo plazo.....	30
Figura 5.Estructura organizativa para respuesta rápida.....	33
Figura 6.El número QRM motiva a los equipos a reducir el MCT.....	40
Figura 7.Estructura organizativa clásica frente QRM	41
Figura 8.Modelos de gestión de equipos o áreas.....	42
Figura 9.Organigrama circular típico en QRM.....	42
Figura 10.Estado organigrama clásico frente a la toma de decisiones	44
Figura 11.Interacciones entre áreas de una organización.....	46
Figura 12.Evolución de la estructura organizativa con QRM.....	57
Figura 13.Génesis de la dinámica de sistemas	64
Figura 14.Aplicación de Ley de Little sobre un sistema	69
Figura 15.Efecto de la capacidad sobre el lead time.....	70
Figura 16.Cola de espera sin limitación en el número de lotes	71
Figura 17.Factor de utilización y amplificador	73
Figura 18.Lead time de la máquina M.....	74
Figura 19.Efecto de la variabilidad y la utilización en el lead time.....	75
Figura 20.Impacto combinado de la utilización y variabilidad en el lead time ..	82
Figura 21.Comportamiento del tamaño de lote en el lead time	83
Figura 22.Comportamiento de la reducción de configuración en el tamaño de lote y lead time	88
Figura 23.Diagrama causal del modelo.....	93
Figura 24.Diagrama de flujo modelo dinámico "Lead Time"	100
Figura 25.Diagrama de flujo modelo dinámico "Lote Óptimo"	101

Índice de gráficas

Gráfica 1.Valores de utilización a variabilidad constante	102
Gráfica 2.Lead time a distintos valores de utilización.....	103
Gráfica 3.Evolución del lead time frente al aumento de la utilización.....	103
Gráfica 4.Lead time para cada valor de utilización con alta variabilidad	104
Gráfica 5.Lead time para cada valor de utilización con baja variabilidad	105
Gráfica 6.Evolución del lead time frente al aumento de la utilización a baja y alta variabilidad.....	105
Gráfica 7.Lead time para cada valor de utilización con alta variabilidad	106
Gráfica 8.Lead time para cada valor de utilización con baja variabilidad	107
Gráfica 9.Evolución de la utilización a baja y alta variabilidad.....	107
Gráfica 10.Tamaño del lote a baja y alta variabilidad.....	109
Gráfica 11.Tamaño de lote medio a baja y alta variabilidad.....	109
Gráfica 12.Utilización para el lote óptimo a baja y alta variabilidad.....	110
Gráfica 13.Lead time medio para el lote óptimo a baja y alta variabilidad.....	110
Gráfica 14.Lote óptimo medio a baja y alta variabilidad	111
Gráfica 15.Lote óptimo medio y tamaño lote medio a baja y alta variabilidad	112

1. Introducción

1.1. Resumen

Las difíciles condiciones económicas actuales, la aparición de nuevos mercados en todo el mundo que lleva consigo el constante incremento de la competencia y los cambios introducidos por la externalización en la fabricación, implica que las organizaciones tengan que adaptar y renovar su estrategia competitiva.

Los nuevos mercados que demandan una amplia variedad de productos y las tecnologías modernas que permiten personalizar una gran cantidad de ellos, así como la manera en la que clientes y proveedores interactúan gracias a aplicaciones móviles, portales y plataformas web, hace que se necesite una estrategia que vaya por delante a los cambios que se están produciendo en estos nuevos mercados.

Las estrategias Kaizen, Six Sigma y Lean Manufacturing, no dan una respuesta completa, aunque la complementan, frente a los retos actuales que los mercados demandan en el día a día, teniendo que implementar nuevas estrategias sobre las que se apoye su ventaja competitiva. Esta nueva estrategia, que puede ser complementada con las anteriores, se denominada QRM (Quick Response Manufacturing o Fabricación de Respuesta Rápida).

QRM es una estrategia dirigida a sectores o empresas con demanda variable, con gran variedad y personalización de productos, donde los principales conceptos del Lean Manufacturing como flujo continuo, takt time y sistemas Pull no dan una respuesta correcta¹. Su principio fundamental es la reducción del MCT (Manufacturing Critical Path Time o Tiempo de Ruta Crítica de Fabricación) periodo que transcurre desde que un pedido es realizado por un cliente hasta que se le entrega el producto, basándose en las siguientes prescripciones:

- Reservar capacidad de recursos para la respuesta rápida a órdenes de pedido de clientes.
- Realizar mejoras en el proceso para reducir los tiempos de ciclo de fabricación.
- Crear nuevas estructuras denominadas células QRM y adoptar sistemas de modelado rápido (CAD-CAM).
- Emplear y formar trabajadores hacia la alta cualificación y polivalencia para minimizar tiempos de espera y maximizar la calidad.

¹ Según Suri (1998, 2003) éstos están basados en una demanda relativamente estable y en productos de reposición.

En este sentido, este trabajo pretende dar a conocer tres conceptos básicos que conforman la estrategia QRM. Existe un cuarto concepto correspondiente a la aplicación de la estrategia en toda la empresa, que permite a QRM ir más allá de ser sólo una metodología susceptible de implementarse en la parte de fabricación, siendo aplicable a toda la organización². No obstante, no será alcance de este trabajo el desarrollo y tratamiento de este concepto, puesto que no es objetivo del mismo.

Los tres conceptos básicos o pilares principales en los que se apoya la estrategia QRM son:

1. El poder del tiempo

Toda organización quiere cumplir con sus clientes disponiendo de plazos de entrega aceptables. Pero no solamente deberán ser aceptables los plazos de entrega, también deberán serlo los tiempos de respuesta. Por tanto, existen algunas razones menos obvias a tener en cuenta en los tiempos de respuesta que serán motivo de consideración tales como:

- Lo significativo que puede llegar a ser el plazo de ejecución.
- La influencia del tiempo en la calidad y en el coste total de la operación.
- La ventaja competitiva que aporta el tiempo para cambiar la visión estratégica de la organización.

Sobre la importancia del tiempo en la industria actual y su gestión, tratarán los capítulos 2 y 3, respectivamente, de este trabajo.

2. Estructura organizativa ágil

En el capítulo 4 se abordará cómo modificar la estructura organizativa para minimizar los tiempos de espera o cola en toda la empresa. Para ello, se definirá y pondrá en valor un elemento clave como es la célula QRM. Las células QRM dan un paso más allá, ampliando su alcance para lograr así elevados niveles de compromiso, flexibilidad y rendimiento del equipo, pasando a denominarse equipos autogestionados.

3. La Dinámica de Sistemas

En el capítulo 5 se mostrará de qué manera las interacciones entre los recursos (máquinas, personas, etc.) y los productos impactan en el MCT y cómo usando los principios y aprovechando las potentes herramientas de la dinámica de sistemas, se puede reducir considerablemente el MCT. Como resultado, se

² Incluye planificación de materiales, compras y gestión de la cadena de suministro, operaciones de oficina, tales como la estimación y el proceso de pedidos, e ingeniería y desarrollo de nuevos productos.

puede considerar métodos de planificación de capacidad, políticas de dimensionamiento de lotes y otras decisiones conexas, con el fin de obtener amplios beneficios para todo el sistema.

La dinámica de sistemas nos permitirá replantearnos y convivir con conceptos como la variabilidad y la utilización del recurso (sobre todo con la alta utilización) frente a enfoques basados en costes, que impulsa a la gran mayoría de los directivos y/o gerentes al pensamiento equivocado de maximizar la utilización de los recursos, con el fin de minimizar su cantidad.

También en el capítulo 5 se expondrán una ley de la Dinámica de Sistemas y una ecuación de la Teoría de Colas conocidas con el nombre de “Ley de Little” y “Fórmula de Kingman”, respectivamente. Éstas nos permitirán comprobar su efecto positivo y relacionar las principales variables que influyen en la mejora de la eficiencia de los sistemas de producción: la capacidad de producción (thoughtput), el trabajo en curso (wip), el lead time, la utilización de los recursos, la variación, etc.

En el capítulo 6 (el más importante de este trabajo por lo que implica disponer de una herramienta eficiente, rápida y de bajo coste que pronostique el comportamiento que tendría el sistema real), se construirá un modelo dinámico para la obtención del lead time y el lote óptimo de cualquier proceso manufacturero basado en la metodología QRM, gracias a la utilización de un software que nos permitirá aplicar técnicas de la Dinámica de Sistemas. Este software de simulación denominado VenSim©, nos permitirá representar las interdependencias existentes entre cada uno de los elementos del sistema.

Finalmente, en el capítulo 7 se exponen algunas conclusiones relacionadas sobre el tiempo y su coste, sobre la diferencia con la que QRM trata la variabilidad respecto a otras estrategias que intentan eliminarla, sobre la organización respecto a la estructura, responsabilidad, polivalencia y eficiencia, sobre la revolución cuestionando los principios básicos de la gestión de la empresa basados solamente en el coste, sobre el pánico al cambio de cualquier persona que se ve obligada a salir de su círculo de confort, sobre la implantación de QRM en el actual modelo de negocio de las empresas, sobre la utilización y el lead time en referencia a la importancia de disponer de sobrecapacidad en los recursos y sobre el modelo dinámico desarrollado que permite identificar el impacto de cualquier variación que afecte a la evolución general del proceso de fabricación.

1.2. Objetivos del trabajo

Con este trabajo, se quiere poner en valor los siguientes objetivos:

1. Desarrollar un modelo dinámico apoyado en la metodología QRM que permita obtener, de manera predictiva, el lead time de un producto a través de un recurso o máquina.
2. Partiendo del modelo dinámico construido para la obtención del lead time, desarrollar un segundo modelo para la obtención del denominado “tamaño de lote óptimo”, tamaño de lote que implica reducir el lead time haciendo éste mínimo.
3. Simulación de los modelos “lead time” y “lote óptimo”, en los que se podrán realizar diversas manipulaciones y aplicar diferentes alternativas de estudio o escenarios para un mejor análisis y comprensión del comportamiento de ambos sistemas.
4. Validación de ambos modelos, comprobando el cumplimiento de los principios que rige la metodología QRM, en relación a la utilización, el lead time y el tamaño de lote, y los efectos que provoca la variabilidad sobre ellos.
5. Dotar a gerentes, directores y/o responsables de producción de una herramienta eficaz, valiosa, eficiente, rápida y de bajo coste que les ayude a la toma de decisiones y focalicen todos los esfuerzos en la reducción del lead time y en la consecución del lote óptimo.

2. La importancia del tiempo en la industria actual

2.1. El tiempo

Decía Albert Einstein que:

“Hay mil maneras de perder el tiempo, pero ninguna de poderlo recuperar”

Evidentemente esto es obvio, pero de entre las muchas variables que hay para gestionar en la empresa, el tiempo es la única variable que se va agotando constantemente y, además, no se puede recuperar de ningún modo. Mientras que un coste o, incluso, un sobrecoste, por ejemplo, puedan llegar a ser un problema que muy probablemente no querríamos tenerlo, e implique que tengamos que invertir una cantidad de dinero, es muy posible que mañana tengamos un rápido retorno de la inversión y pronto lo podamos recuperar. No es el caso del tiempo, éste no se recupera, se va pasando y gastando, y no se detiene en ningún momento.

Cuando cada día llegamos a la oficina y tenemos en mente la idea de realizar 4 ó 5 tareas realmente importantes o críticas y ves que se ha pasado el día y la mitad de esas tareas no has podido ni empezaras o se han quedado a medias, te das cuenta que tienes un grave problema. Esta situación te hace reflexionar que lo que hoy no has hecho, nunca lo harás hoy, lo harás mañana o a partir de mañana.

Un gran número de empresas no prestan la suficiente atención que realmente tiene la gestión del tiempo. Todo el mundo sabe que el tiempo es dinero, pero el tiempo vale mucho más dinero de lo que la mayoría de los gerentes creen, ya que estos priorizan fundamentalmente sobre la gestión de costes.

Como ejemplo podemos citar la situación en la que se encuentra cualquier departamento comercial de una empresa, siempre enfocados a que la cifra de negocio aumente, frente al resto de integrantes de la empresa, principalmente los gestores de recursos, cuya prioridad o una de sus principales prioridades es, o suelen ser, gastar lo mínimo posible. Por tanto, en muchos casos tendremos que decidir si es más importante ser rápidos en ciertas respuestas o gastar lo mínimo posible. Si trasladamos esta decisión a gerencia, la mayoría nos dirán lo segundo, sea cual sea la estrategia de la empresa, tanto operativa como a nivel global.

Tener una mentalidad QRM es dejar de pensar en euros, ya que en ocasiones pensar en euros implica gastar el doble y, aunque esto parezca surrealista, realmente así ocurre. Esto tiene que ver en cómo asignamos los costes en la empresa y qué costes tenemos controlados o monitorizados de forma correcta. Es evidente que todos los costes directos de una empresa manufacturera como, por ejemplo, mano de obra directa o indirecta,

amortizaciones, uso de las instalaciones, suministros, evidentemente las compras, etc., son costes fáciles de contabilizar y, por tanto, podemos calcular el precio de costo, margen bruto, etc., del producto que estamos fabricando de forma fácil. En ocasiones, no siempre son los costes directos los que más pesan en la empresa, en algunos casos si y en otros no, ya que existen otros costes denominados costes indirectos como son, por ejemplo, los costes de estructura. La estrategia QRM entra de lleno aquí, en reducir los costes indirectos.

La metodología QRM (Quick Response Manufacturing o Fabricación de Respuesta Rápida) nos muestra lo importante que es el tiempo, otras razones menos obvias de lo significativo que puede llegar a ser el plazo de ejecución, cómo influye en la calidad y en el coste total de la operación y, finalmente, cómo tomar el tiempo como ventaja competitiva para cambiar la visión de nuestro negocio. Además, utilizando QRM se acortan los tiempos de respuesta y se incrementan las ventas, con lo cual podemos ganar cuota de mercado. Al mismo tiempo, aumenta significativamente la productividad, se multiplican las ganancias y crece también la rentabilidad.

En pequeñas empresas, QRM nos permite competir con los gigantes del mercado. Es habitual escuchar la expresión “el pez grande se come al pez pequeño”; sin embargo, actualmente se sabe que “el pez rápido se come al pez lento”.

Aunque el objetivo de QRM y Lean es el mismo, la aproximación de ambas estrategias es muy distinta. Mientras que Lean busca tener una organización enfocada a la creación de valor y eliminar o reducir los famosos “Muda”³, en QRM la creación de valor es perfecta por definición. QRM nos da herramientas y una metodología para poder reducir una gran cantidad de Mudas, muchos no valores, mientras que Lean explica cuáles son los no valores, pero en muchos casos no sabe cómo reducirlos o eliminarlos.

2.2. Definición de Quick Response Manufacturing (QRM)

QRM (Quick Response Manufacturing o Fabricación de Respuesta Rápida) es una metodología transversal para todas las áreas y aspectos organizativos de la empresa que se basa en la reducción de tiempos de respuesta o lead times en toda la organización.

³ MUDA es un término japonés que significa “inutilidad, ociosidad, superfluo, residuos, despilfarro”. Los MUDA son 7 conceptos que fueron aplicados inicialmente por el ingeniero Taiichi Ohno, autor del conocido “just in time”, el sistema de producción de Toyota. Los tipos de despilfarros o Mudas son: Sobreproducción, Esperas, Transporte, Procesos inapropiados o sobreprocesos, Exceso de inventario, Movimientos innecesarios y Defectos.

QRM persigue la disminución del tiempo de respuesta en todas las operaciones de una empresa, tanto a nivel interno como externo. A nivel externo, desde el punto de vista del cliente, QRM significa no hacer esperar y responder a las necesidades del cliente a través de un rápido diseño y fabricación de productos; mientras que, a nivel interno, desde la propia operativa de la empresa, QRM se centra en la reducción de los tiempos de respuesta para todas las tareas dentro de la empresa, sin generar costes añadidos por sobre gestión, excesos de burocracia y mala comunicación.

QRM, al ser una estrategia corporativa, deben conocerla todos los miembros e integrantes de la organización, focalizando energía y esfuerzo en la reducción sistemática de los lead times de todos los procesos. El cómo se hace, qué herramientas se utilizan y cómo se aborda cada problema que hay detrás de ese lead time lo veremos a lo largo de este trabajo.

Existen 2 razones fundamentales por lo que queremos reducir los tiempos de respuesta o lead times:

1. Vender más, tener a los clientes contentos y ser más atractivos que nuestra competencia

Además, no se trata sólo de ser rápido, se trata de ser rápido siempre. Todo el mundo puede ser rápido un día con un determinado cliente (tipo A) y no lo seremos casi nunca con aquellos más pequeños (tipo C). Sin embargo, clasificar a los clientes por tipo A, B o C en función del tamaño, exclusividad, cifra de negocio que nos reporta o margen de beneficio no sería ni la mejor decisión ni la más acertada a medio y largo plazo. En este sentido, queda claro que nuestra flexibilidad perjudica a algunos clientes, ya que sólo atendemos de forma adecuada al cliente grande, al que nos deja más margen o nos da más volumen. Pero puede ser que ese cliente pequeño, mañana sea grande, y que con nuestra ayuda pueda generar más negocio, crezca y sea el futuro de nuestra empresa. Por tanto, si perjudicamos al cliente pequeño, llegará el día que nos abandone y habremos conseguido lo que queríamos, quedarnos con el grande, que cada vez lo será más, convirtiéndose en un problema para nosotros.

2. Reducir o eliminar sobrecostes por exceso de gestión

Por un lado, debemos plantearnos qué ocurre si la empresa desarrolla su actividad en mercados cambiantes, si la demanda es variable, si tenemos que personalizar el producto o servicio que ofrecemos, si invertimos en instalaciones a medida o simplemente queremos ser más rápidos en fabricar un producto y es caro o complicado de estocar; y por otro, comprobar si somos lentos en nuestros procesos internos y externos, por ejemplo, en realizar y lanzar una oferta, en procesar un pedido o en si son largos nuestros manufacturing lead times. Así, si la empresa convive simultáneamente con un gran número de temas más o menos complejos y los lead times son largos, lo más probable es que siempre

vayamos muy retrasados, tengamos muchos de ellos por resolver y necesitemos staff, gestores, etc., que nos ayude a coordinar y a hacer seguimiento de los mismos.

El enfoque que propone QRM consiste en simplificarlo todo, que no haya nada que gestionar, perseguir o planificar, ya que el conjunto de la organización puede ver cómo se encuentra todo. Por tanto, si utilizamos QRM se puede adelgazar la estructura de la organización, ya que puedes prescindir de la mayoría de recursos que ayudan a que las cosas funcionen, tales como planificadores en planta, encargados, team leaders, proveedores, etc.

2.3. Relación entre QRM y otras estrategias

QRM ayuda a completar y construir otras estrategias, por ejemplo, Six Sigma o Kaizen y a mejorarla, en el caso de Lean. Además, simultáneamente, las unifica bajo un mismo objetivo, la reducción de los lead times.

Si nos centramos en el QRM y en el Lean Manufacturing, y se analizan las similitudes y diferencias entre ambas estrategias desde distintos prismas, podremos obtener las siguientes conclusiones:

a) Desde un enfoque conceptual

La estrategia QRM se centra en el control y la minimización de las colas y stocks de proceso. En ese sentido es parecido al TOC⁴ pero a diferencia de éste, el QRM tiene un enfoque dinámico (reduce los cuellos de botella en cada instante, aunque cambien de lugar). Además, el TOC no considera el stock como algo dañino para el cálculo del lead time, sino que lo considera un “colchón” para la protección de los cuellos de botella estáticos.

En el caso del Lean, el enfoque es mucho más general, es decir, máxima aplicación de valor en toda la cadena a través de la minimización de todo lo que podemos definir como derroche. Visto así, el Lean tiene una visión mucho más amplia que el QRM o el TOC y, por tanto, puede perder eficacia al luchar en demasiados frentes.

b) Desde la estandarización

El Lean descansa sobre una base sólida basada en la creación de estándares. De este modo cualquier mejora parte de un estándar, consiguiendo cambios efectivos y objetivos.

⁴ La teoría de las Restricciones o TOC (por sus siglas en inglés Theory of Constraints) o también conocida como Teoría de las Limitaciones, se basa en que todo sistema productivo siempre tiene, al menos, un cuello de botella o un eslabón en la cadena más débil, y su determinación es crucial para actuar sobre él, ya que este cuello de botella es el que marcará el ritmo productivo de la cadena.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

En cambio, QRM se basa en entornos productivos con producto personalizado o con amplios catálogos de productos y opciones. Aunque QRM también utiliza estándares, éstos suelen ser mucho más genéricos y con menos detalle, ya que el coste de un estándar tipo Lean, en muchos casos tiene un coste demasiado alto.

c) Desde el tiempo de flujo

QRM y Lean son dos metodologías enfocadas a la optimización del tiempo de flujo de los procesos, aunque no de la misma forma. El Lean busca regularidad para equilibrar cargas y ritmos de trabajo para conseguir un buen coste a un ritmo constante y seguro. El QRM, en cambio, adapta la capacidad a las necesidades de carga de forma instantánea y con mucha más facilidad.

De hecho, Lean sólo sirve si la demanda es regular y previsible o si trabajamos con stocks de seguridad. Contrariamente, QRM brilla en entornos con demanda irregular o producto personalizado, así se enfoca a la flexibilidad creando infinitos registros en materia de adaptación a la carga del momento.

Resumiendo, el Lean es más rígido y perfeccionista, mientras que QRM es más adaptable.

d) Desde los sistemas PULL

Aunque Lean Manufacturing puede trabajar contra pedido, sólo lo hace cuando la demanda es muy plana y regular. Cuando no es así, el Lean utiliza stocks de seguridad y un sistema "Pull" automático que asegura el ciclo (Kanban).

Kanban es una parte del sistema de producción de Toyota, diseñado para trabajar en un contexto de producción de alto volumen de productos similares y con una demanda bastante estable.

El diseño de un sistema Kanban comienza con calcular correctamente el tiempo de procesamiento para cada operación. Así, se define el "Takt Time" como el tiempo de ciclo en el que se debe completar la operación a fin de mantenerse al día con la tasa media de las ventas. El sistema Kanban crea un sistema equilibrado con un buen nivel de flujo a través de la planta si se mantienen todas las operaciones de trabajo justo debajo del takt time.

Si algunas operaciones exceden el takt time, entonces el sistema debe volver a configurarse para que todos ellos queden dentro del tiempo de procesamiento. Sin embargo, hay que tener en cuenta que todos los cálculos de takt time se basan en la tasa media de las ventas. Así, con una demanda relativamente alta y estable, y una pequeña variedad de productos, el sistema kanban no sólo

mantiene el material en movimiento, sino que es eficaz, simple de implementar y funciona muy bien.

Por el contrario, si la demanda, los productos o ambos, varían mucho de una semana a otra, también lo harán los cuellos de botella, por tanto, la cifra del takt time no tiene demasiado sentido para ninguna semana. Dicho de otra manera, todas las reconfiguraciones realizadas en base al takt time serían ineficaces ya que cada semana estarían llegando demandas distintas. Además, si los productos son personalizados (hechos a medida) y de bajo volumen, el sistema Kanban no funciona en absoluto puesto que no está diseñado para operar en ambientes de alta variabilidad.

El sistema Kanban se considera como un sistema de reposición, ya que necesita existencias por toda la planta o stocks intermedios: se empieza con el envío de productos acabados y se envía una señal para reponer los materiales consumidos, pero no podemos tener stock de productos acabados si nunca se han fabricado con anterioridad, de hecho, ni siquiera han sido diseñados todavía. Como es sabido, en cada paso del sistema Kanban de la planta, se recogen productos semielaborados de los puntos de almacenamiento y, posteriormente, se repone el material consumido.

Cuando el volumen de producción es alto, no hay necesidad de preocuparse por los stocks intermedios, porque los artículos se mueven por ellos rápidamente y la velocidad de rotación de stock es suficientemente alta. Así, el sistema Kanban funciona bien en estos entornos, pero en entornos de bajo volumen, en lugar de eliminar derroches en realidad se crean más.

En QRM es distinto, ya que no acepta trabajar con stocks para controlar el flujo de producción, tanto en el contexto de productos personalizados, de bajo volumen y alta variabilidad, como dentro del contexto de estructura de célula QRM implementada.

Así pues, utiliza el POLCA (Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization o Tarjetas para Bucles de Parejas de células Superpuestas con Autorización), un potente y simple regularizador de flujo que asegura la velocidad de los pedidos en planta sin intervención humana de ningún tipo. De éste modo, el POLCA prohíbe fabricar un pedido si hay exceso de cola de espera, siendo un buen método para reducir los lead times.

Mientras que Lean se enfoca a crear flujos automáticos y con poca gestión tirados por el sistema de stock Kanban, QRM regula el flujo para minimizar los trabajos en proceso o semi elaborados (WIP) y el lead time de proceso, asegurando así tiempos récord y sin stock.

e) Desde las personas

La metodología Lean crea entornos con alta productividad y estandarización con un personal muy enfocado a la mejora continua a través de un soporte real de ingenieros de procesos y demás colaboradores indirectos.

Sin embargo, QRM busca como primera prioridad, elevar la implicación de las personas. Es sabido que un equipo de trabajo con alta energía será más creativo, más proactivo y tendrá mejores resultados que un entorno con simples seguidores de normas. Para ello, QRM emplea los conceptos de “empoderamiento” y “autogestión” para transferir responsabilidades a los trabajadores de primer nivel, creando lugares de trabajo planos, con constantes retos y en un verdadero entorno de trabajo en equipo.

f) Desde el enfoque organizativo

El Lean Manufacturing no tiene un sistema de organización de los flujos de trabajo determinado, puede cumplir con sus preceptos principales de crear valor de muchos modos distintos.

QRM es distinto, ya que crea celdas de trabajo que incluyen procesos completos para reducir el lead time. De este modo el equipo sólo depende de sí mismo para conseguir un lead time mínimo. Ésta es la foto ideal, aunque también es verdad que a veces no es posible contener un proceso completo dentro de un área determinada y con un equipo concreto. En estos casos se busca la inclusión de la parte más crítica de dicho proceso, que suele ser la que actualmente tiene más colas, stocks y esperas.

La tendencia de los mercados actuales evoluciona hacia una demanda creciente, de alto volumen de productos personalizados y, junto a la posibilidad de diseñar y especificar características adicionales que los fabricantes ofrecen a sus clientes (alta variedad) contra pedido, permiten que aumenten enormemente y que sigan haciéndolo. Esta tendencia choca de frente con la filosofía que tan bien le funcionó a Henry Ford a principios del siglo pasado, ya que Ford diseñó su sistema para hacer el mismo producto una y otra vez, con una variedad muy pequeña, como lo demuestra su cita clásica:

“El cliente puede pedir cualquier color que desee, mientras sea negro”

Suri (2014) define dos tipos de variabilidad y cómo esta contribuye a que QRM mejore Lean:

a) Variabilidad disfuncional

Es causada por errores, mala organización y sistemas ineficaces. Son ejemplos de la variabilidad disfuncional la repetición de trabajos, cambios constantes en las prioridades y fechas de vencimiento y una demanda irregular, debido a una débil conexión entre ventas y clientes.

b) Variabilidad estratégica

Corresponde a lo que una organización utiliza para mantener su ventaja competitiva en el mercado. Son ejemplos de la variabilidad estratégica la capacidad de hacer frente a cambios inesperados en la demanda sin degradar el servicio, ofrecer multitud de opciones a los clientes y proponer productos con diseños personalizados para aplicaciones individuales.

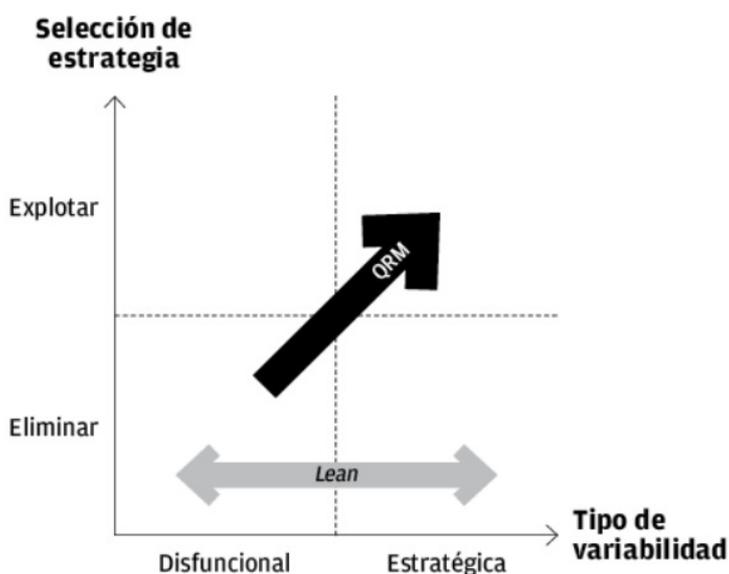


Figura 1. La estrategia QRM mejora Lean
Fuente: Suri (2014)

Las principales técnicas de Lean tienen como objetivo eliminar toda la variabilidad en el sistema de fabricación, siendo una decisión acertada si se pretende suprimir la variabilidad disfuncional. No obstante, es posible que no se quiera eliminar la variabilidad estratégica, sobre todo si es la base de la ventaja competitiva de la empresa.

El enfoque QRM está alineado con el enfoque Lean si se trata de eliminar toda la variabilidad disfuncional. Sin embargo, QRM no elimina la variabilidad estratégica, sino que la aprovecha, gracias al diseño de la organización bajo la metodología QRM y sistemas de apoyo para hacer frente con eficacia a esta variabilidad estratégica.

2.4. El impacto de la variabilidad en un sistema perfecto

Como ejemplo, supongamos un restaurante, aunque podría ser cualquier empresa, con clientes ubicados en una cola de entrada que van andando para demandar un servicio, y una cola parecida de salida de clientes andando al mismo ritmo que la de entrada, lo que se conoce en Lean como takt time.

Dentro del restaurante hay un flujo constante, como si de una línea de producción se tratase, en el que el cliente no para de andar, entra por un lado y sale por el otro extremo. En esta circunstancia, los recursos de este restaurante (camareros, electrodomésticos, cajas registradoras, etc.) estarían saturados, ya que tenemos una demanda regular y previsible, conociendo a priori el número de clientes que van a entrar al restaurante. En este caso, vamos a estandarizar procesos y hacemos Lean Manufacturing buscando el día perfecto para repetirlo hasta el infinito.

Pero, si sobre este mismo restaurante aparece una variabilidad añadida en la carga, ahora entran más clientes de lo esperado o tenemos algún problema en la capacidad (enferma un camarero o deja de funcionar un electrodoméstico), lo que parecía un sistema perfecto deja de serlo, comenzando a aparecer colas y problemas, porque está pensado en tener cero sobrecapacidad, ya que si la demanda es previsible, perfecta y regular, por qué vamos a tener un camarero más o electrodomésticos parados, si sabemos que nunca fallará nada y que la demanda no se va a modificar.

Siguiendo con el mismo ejemplo, imaginemos que al restaurante llegan 2 ó 3 autocares simultáneamente y/o aparecen intervalos variables de tiempo que no entra nadie al restaurante. En esta nueva situación, si queremos seguir dando un buen servicio al cliente, la aproximación no sería la misma que nos propone Lean Manufacturing en modo puro, sino que pasaríamos a utilizar una metodología QRM.

2.5. Los tres pilares del QRM

Los tres pilares principales sobre los que se apoya la estrategia QRM son:

1. Gestión del tiempo.
2. Estructuras organizativas ágiles.
3. Dinámica de Sistemas.

Cada uno de ellos serán tratados con detalle en los siguientes capítulos de este trabajo.

3. El primer pilar del QRM: Gestión del tiempo

3.1. El enfoque coste-tiempo

La Figura 2 muestra un proceso que podría compararse con el VSM⁵ (Value Stream Mapping o Mapeo de la cadena de valor) que utiliza Lean Manufacturing; sin embargo, este mapa en QRM se denomina MCT⁶ (Manufacturing Critical Path Time o Tiempo de ruta crítica de fabricación) y representa los tiempos de flujo o lead times de un producto a través de los recursos desde la entrada del pedido hasta su expedición. Así, mientras que VSM intenta calcular la relación carga-capacidad por familia o por producto, QRM pretende mostrar por tipología de proceso o familia, los tiempos de proceso y espera, los cuellos de botella, etc., que hay en la empresa para empezar a conocer dónde están los problemas y, posteriormente, monitorizar las posibles mejoras, puesto que los recursos son polivalentes y multidisciplinares.

Un enfoque QRM, cuyo objetivo principal está orientado a reducir al mínimo los tiempos de producción, implica un enorme cambio en la mentalidad, ya que pasamos de principios de fabricación tradicionales basados en el coste a un pensamiento basado en el tiempo, tal y como muestra la Figura 2, que ayuda a clarificar este enfoque.

Los enfoques tradicionales, basados en costes, se centran en la reducción del tiempo de trabajo (espacios naranjas), es decir, en el tiempo invertido en el pedido. En este sentido, cualquier mejora en los tiempos de trabajo conllevará una disminución de los mismos. Sin embargo, esta mejora será un pequeño porcentaje, siendo éste aún inferior si es comparado con el plazo de entrega que perciben los clientes. En cambio, el enfoque QRM se centra en reducir el tiempo de respuesta (suma de espacios grises y espacios naranjas, de principio a fin). Este planteamiento por lo general conduce a un tratamiento muy diferente respecto a lo que se debe mejorar y da lugar a diferentes decisiones de gestión, en comparación con aquellas que resultan del enfoque basado en los costes.

⁵ Según Madariaga (2018) p.228, un VSM es una representación gráfica, mediante símbolos específicos, del flujo de materiales y del flujo de información a lo largo de la corriente de valor de una familia de productos dentro de la fábrica, de puerta a puerta, de la recepción a expediciones. Llamamos "Value Stream" (corriente de valor) de una familia de productos al conjunto de procesos que contribuyen a transformar la materia prima en producto terminado. La corriente de valor comprende actividades que aportan valor (VA), actividades que no aportan valor pero son necesarias (NVAN) y actividades que no aportan valor y son innecesarias (NVAI)

⁶ Ver apartado 3.2 de este capítulo.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

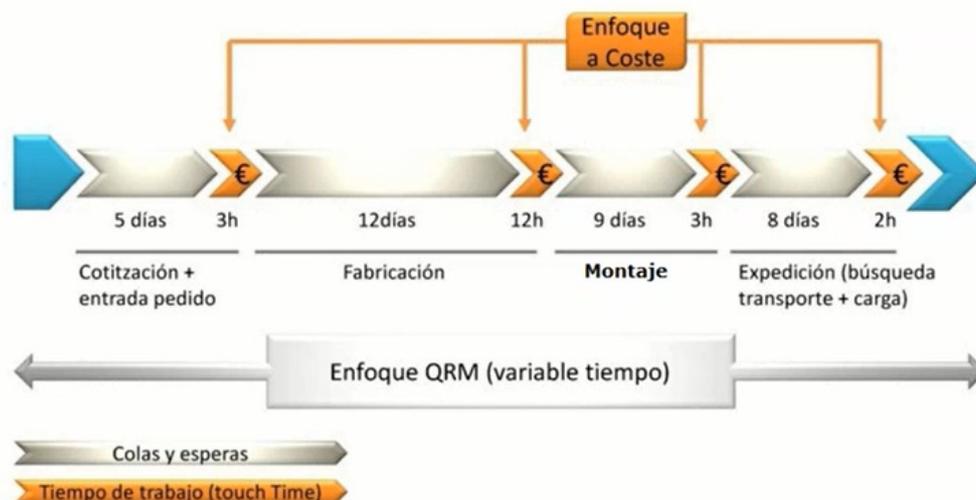


Figura 2. Sistemas basados en costes frente a los de tiempo
Fuente: Propia

Adicionalmente, la Figura 2 muestra el flujo de un pedido en una empresa manufacturera desde la fase de cotización y aceptación de la oferta hasta la fase de expedición pasando por fabricación y montaje. El tiempo de trabajo (espacios naranjas), refleja el momento en que alguien está realmente trabajando en el pedido, por tanto, basándonos en una jornada de trabajo de 8 horas, el tiempo de trabajo será de 2,5 días, y durante el resto del tiempo (espacios grises) no sucede nada con el pedido. El tiempo total que ha transcurrido es de 34 días (suma de espacios grises y naranjas), mientras que sólo hemos invertido 20 horas que denominamos “Horas de Valor”, “Horas de Touch Time” o de “Ciclo Máquina” para poder entregar este pedido. En este sentido, nos hemos acostumbrado a que esta situación sea desgraciadamente habitual, aunque no sea normal o no debería serla, ya que el resto de fabricantes del sector tienen plazos parecidos y habituales de encontrar.

Desde un enfoque QRM, existe un concepto prioritario que se fundamenta en el mantenimiento constante del foco en los tiempos de respuesta (espacios grises y naranjas), o más concretamente, en su reducción, intentando mejorar el proceso, el método, la máquina, el utillaje, etc.; mientras en un enfoque clásico, nos focalizamos sobre los espacios naranjas. Así, pasamos de tener plazos de entrega de 34 días a sólo 20 días y siempre de manera constante.

Si trasladamos los tiempos anteriores a papel y los dibujamos, comenzamos a entender qué ocurre, por qué hay tantos espacios grises y pocos espacios naranjas, qué están haciendo los operarios o las máquinas con el pedido, por qué están 12 días las piezas esperando entrar en máquina o en máquinas, por qué hay máquinas paradas, qué se está haciendo y por qué se tarda 1,5 días el técnico de ofertas en realizar una cotización si total es media hora de trabajo, por qué los operarios no está haciendo una determina tarea en ese momento, etc.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

La respuesta es sencilla, los recursos (operarios, máquinas, equipos, etc.) están siendo compartidos, están trabajando para otros pedidos que venían de ayer, anteayer o de la semana pasada o están realizando otras tareas, puesto que la empresa trabaja para más de un tema a la vez, ya que de no ser así tendría el 90% de los recursos parados.

Pero todo tiene un límite, imaginemos que la empresa tiene 100 pedidos pendientes de servir y, aumente en muy poco tiempo, a 150 pedidos. La consecuencia será inmediata, al aumentar la demanda, aumenta la carga de trabajo, el lead time habitual que es de 3 semanas aumenta a 4,5 semanas puesto que aparecen más elementos a gestionar o fabricar y, automáticamente, se generan más espacios grises. Sin embargo, esto que es normal, no lo acepta el cliente de su proveedor puesto que dicho aumento de lead time le trastoca todo: recepción de pedidos, gestión de stocks, plazos entrega de pedidos, etc.

En este preciso instante, debemos plantearnos como fabricante, si nos gusta quedar mal con los clientes o queremos perderlos y, como cliente, si preferimos un fabricante que siempre nos entregue los pedidos en 3 semanas o que no cese en la mejora continua e innovación de sus procesos para que el año siguiente los pedidos los pueda entregar en 2 semanas. Es más, en algunos casos, se podría aceptar un sobrecoste del fabricante si dispone de un servicio más rápido en ciertos equipos, piezas, etc., prefiriendo a éste frente a otros, incluso a precio más elevado. La consecuencia inmediata para el proveedor será la de seguir vendiendo, aprovechando dicha ventaja competitiva para hacerlo a un precio superior y obtener el correspondiente aumento de margen que seguramente andaba buscando.

En la actualidad hay empresas que aplicando QRM pueden llegar a regalar el producto. Evidentemente esto no sucede, pero el cliente paga el producto en función del tiempo de respuesta. Por ejemplo, si un cliente quiere que le suministremos una determinada pieza en 4 horas ésta le cuesta 1.000 euros, en 24 horas 500 euros y en 1 semana 100 euros. La cuestión es ver hasta qué punto la velocidad de respuesta nos genera más ventas. Hasta aquí, tenemos la mitad del margen de ganancia, la otra mitad la obtenemos de la estructura, ya que haciendo QRM adelgazamos la estructura y reducimos los costes. Si conseguimos ambos objetivos es perfecto, si sólo obtenemos la ganancia en tener menos estructura, al menos sus miembros podrán realizar sus tareas más ordenados y tranquilos, además de ahorrarnos un costo. Pero normalmente, ser más rápido, o te aporta más ventas o dejas de perder clientes por culpa de un mal servicio, cosa que parece lo mismo.

3.2. Tiempo de ruta crítica de fabricación (MCT o Manufacturing Critical Path Time)

Para Suri (2014) la medida del tiempo de respuesta es ambiguo, que dan lugar a mensajes confusos para el resto de la organización o incluso se puede llegar a la manipulación en la forma en que se reporta. Además, existen muchos tiempos de respuesta en una empresa, entre los que podríamos citar el tiempo de respuesta externo, el tiempo de respuesta interno, el tiempo de respuesta presupuestado, el tiempo de respuesta de planificación o el tiempo de respuesta de proveedor.

Por ello, se hace necesario desarrollar una métrica que unifica todas estas diferentes medidas y aclara el foco de la estrategia QRM. Esta métrica de tiempo de respuesta se denomina Tiempo de ruta crítica de fabricación (MCT o Manufacturing Critical Path Time), definida aquí como la cantidad de tiempo, medido en días, desde que un cliente hace un pedido, a través de la ruta crítica, hasta que se le entrega la primera pieza del pedido. A partir de aquí, el foco siempre se basará en el MCT como métrica.

La métrica MCT nos permite:

1. Simplificación en la recogida de datos y análisis de la información por dos razones:
 - a) Suministrar una aproximación aceptable para apuntar en la dirección correcta. Por ejemplo, grandes valores MCT son también los principales generadores de derroche en todo el sistema. Así, el objetivo pasa por obtener un cálculo aproximado que muestre las mayores oportunidades de mejora.
 - b) Comparar la cantidad de tiempo de trabajo real (espacio naranja) con el valor total de MCT. Como vimos en el ejemplo de la Figura 2, el espacio naranja por lo general representa una pequeña fracción del tiempo total. Normalmente hay una gran cantidad de espacio gris, sorprendiendo a la gerencia y motivándola a tomar acciones correctivas utilizando métodos QRM. Por lo tanto, no es necesario que el valor MCT sea extremadamente preciso, siempre que demuestre claramente la magnitud del espacio gris.

2. Medición en tiempo calendario y cuantificación correcta de la ruta crítica.

Esencialmente, MCT se debe medir en tiempo real y no en días hábiles de la compañía, porque el tiempo calendario es la manera en la que los clientes perciben las entregas. También se puede ver en la definición que MCT comienza con la creación del pedido por parte del cliente, ya que es ahí cuando el reloj empieza a contar, desde la óptica del cliente.

Por otro lado, MCT no sólo cuantifica la duración de las actividades de la ruta crítica más larga para la cumplimentación de pedidos, incluyendo el procesamiento de pedidos, planificación de materiales, programación, producción y logística, sino que también cuantifica el derroche en el sistema.

Específicamente hay tres reglas importantes a seguir en el cálculo de la ruta crítica de MCT:

1. Asegurar que todas las actividades se completan desde cero. Por ejemplo, si normalmente fabricamos componentes, las existencias prefabricadas de esos componentes no se pueden utilizar para reducir el valor de MCT, ya que habría que añadir el tiempo necesario para fabricar esos componentes desde cero.
2. Agregar todas las colas normales, esperas y retrasos en movimientos en que los trabajos incurrir, y no usar los valores de aquellos trabajos procesados en forma acelerada. En el cálculo del valor de MCT es importante que estos movimientos habituales y los tiempos de espera se contabilicen, además del tiempo necesario para la propia operación. También debemos tratar de usar tiempos de movimiento y de espera reales, en lugar de usar los tiempos teóricos utilizados en el sistema MRP (Material Requirements Planning o Planificación de requerimientos de materiales) u otro sistema de planificación. Debemos recordar que para el cálculo de MCT, las estimaciones razonables son suficientemente buenas.
3. Mientras que en un negocio de fabricación las existencias prefabricadas se utilizan para reducir el tiempo de entrega, en QRM, por el contrario, el tiempo invertido por el material, en cualquier etapa, añade tiempo al valor de MCT. Esto se hace con el fin de capturar y cuantificar las pérdidas a lo largo del sistema. Por lo tanto, si existen puntos de almacenamiento en cualquier fase de la operación (materias primas, trabajo en curso (WIP o Work In Progress) y productos terminados), debemos agregar al valor MCT la cantidad de tiempo que el material permanece esperando en estos puntos de almacenamiento.

MCT adopta la perspectiva de la primera pieza de un pedido; esto sirve para asegurar una medición consistente del valor, independientemente del tamaño del pedido. Esto es particularmente importante para proporcionar ideas sobre las oportunidades de mejora.

Además, debemos tener en cuenta que MCT termina cuando el pedido se entrega en el punto de recepción del cliente. Esto implica que los MCT incluyen el tiempo de logística, siendo importante cuantificar el impacto que tiene éste en la capacidad de un fabricante para responder a los clientes. Además, en el caso

de que la logística sea larga, una vez que un pedido ha sido expedido desde el proveedor, se hace muy difícil influir en el tiempo de entrega.

3.3. Derroches en la empresa debido a largos MCT

Para Suri (2014) debemos centrarnos en MCT como métrica y en su reducción como una meta, ya que los MCT largos provocan pérdida de valor en la empresa. También nos plantea que reflexionemos sobre cuáles son las tareas y actividades que se realizan hoy, que podrían reducirse o eliminarse si nuestros MCT fueran mucho más cortos y estos elementos pudiesen reducirse (esto significa que realmente representan un derroche en la actualidad y existen únicamente producto de un MCT largo); y qué nuevas oportunidades estarían disponibles para nuestra empresa, que no lo están actualmente (esto también significa un derroche, ya que largos tiempos de respuesta se traducen en oportunidades perdidas para nuestra empresa).

Por ejemplo, reducir el MCT de un producto en particular de diez semanas a una sola semana nos permitiría eliminar actividades y recursos o estar tratando de entrar en un determinado mercado con nuestros productos para captar un 20% adicional de ventas si nuestros tiempos de respuesta fueran mucho más cortos. Estos son claros ejemplos de derroche o desperdicio actuales (actividades y recursos o pérdida de oportunidades) para nuestra empresa debidos a un MCT largo que no serían necesarios o se podrían evitar si nuestro MCT fuera más corto.

Otros ejemplos de actividades y costes en que se incurre actualmente, pero que se reducirían o eliminarían si disminuyera sustancialmente el MCT son:

- La agilización de trabajos urgentes o pedidos atrasados requiere de sistemas sofisticados, transporte no planificado, personal de planta y personal de oficina para gestionar y ejecutar los cambios necesarios, e incluso se requiere tiempo de altos directivos para negociar prioridades entre múltiples trabajos urgentes.
- Reuniones de producción para actualizar prioridades y cambios de objetivos.
- Costes por horas extraordinarias para tratar de acelerar los trabajos atrasados.
- Tiempo dedicado por los departamentos de ventas, planificación, programación, compras y otros para desarrollar pronósticos y actualizarlos frecuentemente.
- Costes por mantenimiento de stock en proceso y de productos terminados y uso de espacio para almacenamiento.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

- Recursos utilizados para almacenar y recuperar repetidamente las piezas a lo largo del extenso MCT, además de daño potencial a los componentes debido a la continua manipulación.
- Obsolescencia de piezas fabricadas para stock y luego almacenadas, pero no utilizadas.
- Problemas de calidad no detectados hasta muy tarde, dando lugar a una gran cantidad de reprocesos y desperdicios.
- Tiempo para hacer frente a cambios en fecha de entrega y cantidades y modificaciones de características y alcance (las especificaciones de trabajo van cambiando constantemente durante un MCT largo, provocando que se deba a volver a hacer el trabajo).
- Cancelaciones de pedidos o pérdida de ventas por la competencia.
- Tiempo de ventas dedicado a facilitar y explicar los retrasos a clientes.
- Inversión en sistemas informáticos complejos y sistemas organizacionales, necesarios para gestionar este entorno dinámico.

Algunos ejemplos de oportunidades que se pierden a causa de un largo MCT son:

- Oportunidades para ganar cuota de mercado mediante la oferta de tiempos de respuesta más cortos para los actuales productos.
- Oportunidades para vencer a la competencia en el mercado y ganar cuota de mercado a través de una rápida introducción de nuevos productos con una funcionalidad mejorada.

Como podemos apreciar, existe más desperdicio de lo que inicialmente pensábamos, debido a un largo MCT.

Según Suri (2014) cuando se utilizan métodos para reducir el MCT, logramos una reducción significativa en actividades y costes de gastos generales (la mayoría de las partidas se incluyen en la categoría de gastos generales), un aumento de la productividad de los empleados (personas trabajando en conseguir trabajos acabados, en lugar de rehacer constantemente las cosas), mejoras en la calidad, generación de nuevas oportunidades de venta y muchos otros beneficios.

En las empresas que fabrican una gran variedad de productos, con un gran número de opciones o productos de diseño personalizado, QRM ha ayudado a reducir los gastos generales en un 30% o más. Si se tiene en cuenta que los

gastos generales podrían llegar a un 50% de nuestro coste y esta porción se podría reducir en un 30%, esto se traduce en una reducción del 15% en el coste de los bienes vendidos. Y lo mejor es que esta reducción de costes no viene a expensas de otras medidas de desempeño, sino todo lo contrario. Al mismo tiempo que se logran reducciones de MCT de un 80 a 90%, se logran enormes mejoras en la calidad.

Si miramos hacia el futuro y analizamos el mercado por donde se ha de mover nuestra empresa, veremos más y más variedad de productos y una mayor personalización de ellos, una tendencia que se empieza a conocer como la “personalización en masa”. Por lo tanto y muy importante, QRM es una poderosa herramienta que nos puede ayudar a que nuestra empresa se convierta en experta en el manejo del bajo volumen de producción, con el fin de asegurar nuestro futuro. Esta es la fuerza de QRM.

3.4. QRM frente a los sistemas contables tradicionales

Según Suri (2014), al tratar de implementar la estrategia QRM nos encontraremos de inmediato con un obstáculo insalvable, el sistema contable tradicional, ya que los sistemas contables emplean métodos tradicionales basados en costes que se focalizan en reducir sólo el tiempo de trabajo real (espacio naranja Figura. 1) bajo el supuesto de que esto reducirá el coste del producto.

La aplicación de métodos QRM podría mostrar que:

1. Se puede reducir el MCT total si se aumentan los espacios naranjas (tiempo de trabajo real). Esta recomendación nos traerá inmediatamente todo tipo de objeciones, porque de acuerdo a nuestro sistema contable, el aumento de espacio naranja dará lugar a un gran aumento en el coste del producto.
2. Se construya una célula QRM formada por empleados con formación transversal y provistos de múltiples herramientas para que puedan completar todos los pasos de un proceso en una sola área. Sin embargo, puesto que los operarios tendrán que trabajar en varios pasos, con diferentes máquinas y herramientas y posiblemente tengan que localizar distintos componentes, se necesitará más tiempo de trabajo real (espacios naranjas) para completar el proceso. Por otro lado, evitaremos las colas de espera dentro de la célula. De esta forma, el tiempo de trabajo real aumentará levemente y el MCT se reducirá sustancialmente. No obstante, debido a que este tiempo aumenta y a que se pagan salarios más altos a los trabajadores con formación transversal (por sus habilidades superiores), el sistema contable dirá que nuestros costes aumentan si esa mano de obra se imputa a los gastos generales.

3. Es necesario realizar lotes más pequeños mediante máquinas. Puesto que procesar lotes más pequeños requiere mayor cantidad de ajustes, de nuevo aumentaría el espacio naranja y el sistema contable nos informaría de que los costes se han incrementado.
4. Hay que invertir en holgura de capacidad. Mientras un estudio tradicional podría sugerir que un área de fabricación puede llegar a funcionar con cinco operadores de máquinas, QRM puede sugerir que empleemos a seis operadores. Una vez más, el sistema de costes nos indicará que esto aumentará los costes.

Estos son solo algunos ejemplos de recomendaciones cuando aplicamos métodos QRM. Sin embargo, si aumentamos el espacio naranja unas pocas horas y reducimos nuestro MCT del orden de días, realmente no aumentan los costes. Además, como consecuencia de la reducción de MCT, podremos:

- Fabricar algunos de nuestros productos exclusivamente contra pedido en lugar de para stock.
- Disminuir superficie o cerrar nuestro almacén reduciendo o eliminando no sólo los costes del inventario, sino también los costes asociados con la construcción, el personal de manipulación de materiales, el mantenimiento de registros, los costes de obsolescencia, etc.
- Eliminar todo el tiempo empleado en las reuniones, permitiendo a planificadores, empleados de marketing, vendedores, analistas, etc. a utilizar su tiempo de manera más productiva.
- Aumentar la capacidad en la planta, ya que antes solíamos fabricar de acuerdo a previsiones y si éstas no se cumplían, la capacidad se había empleado únicamente en incrementar los costes de stock.

En este sentido, Suri (2014) nos recuerda que el MCT es la suma del espacio gris y el espacio naranja y que los sistemas contables tradicionales no identifican entre el coste del espacio gris (Figura. 2) y productos o actividades específicas. El coste del espacio gris entra en el grupo de los gastos generales, donde están mezclados con otros costes, desconectado de sus causas, siendo seguidamente este grupo aplicado en todos los productos. Por tanto, si aumenta un poco el espacio naranja pero se reduce considerablemente el espacio gris, el sistema contable predice sólo el impacto del aumento de los costes laborales más los gastos generales asignados, pero no los beneficios de la reducción del espacio gris. Esto nos lleva a la conclusión de que el espacio gris también tiene coste y la mayoría de los sistemas contables no conectan directamente el coste de los espacios grises con las causas que los originan.

La Figura 3 explica gráficamente la anterior afirmación. La gráfica muestra tres barras que representan el coste total de un producto.

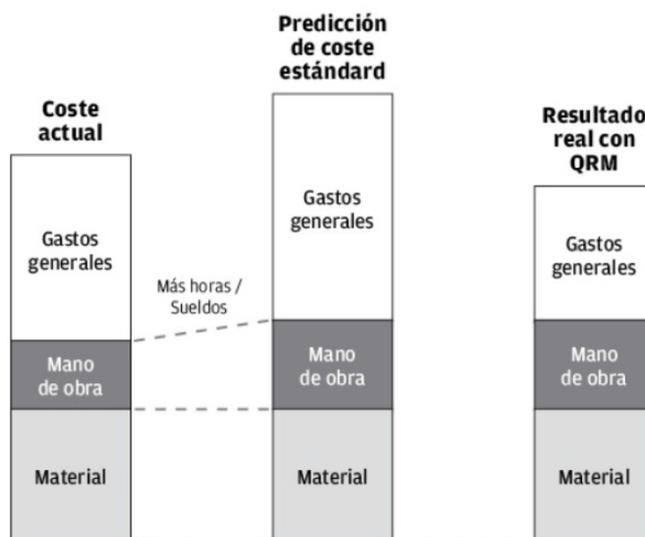


Figura 3. Impacto de una célula QRM en relación al coste actual y al estándar
Fuente: Suri (2014)

- La primera barra representa el coste actual de un producto, separado en los tres componentes tradicionales de coste estándar: material, mano de obra directa y gastos generales.
- La segunda barra representa la predicción de un sistema contable tradicional tras la creación de una célula QRM capacitada en polivalencia. En ella aparece un aumento de la mano de obra, así como de los salarios, es decir, un gran aumento en el coste total, dado que los gastos generales asignados a este producto también aumentan en proporción al aumento de los costes laborales.
- La tercera barra muestra el resultado real con QRM. En ella se observa que los gastos generales han disminuido significativamente y, de esta manera, el coste total en realidad se reduce. Así que no sólo tiene un coste menor, sino que también se logra una enorme disminución del MCT y una mejor capacidad de respuesta en la atención al cliente.

Además, la aplicación de métodos QRM permite mejoras adicionales a largo plazo, como muestra la Figura 4.



Figura 4. Impacto de QRM a largo plazo
Fuente: Suri (2014)

- En primer lugar, se puede observar en las barras que se han reducido los costes de materiales para las empresas entre un 15 y un 20% debido a la aplicación de métodos QRM adoptados en la cadena de suministro.
- En segundo lugar, la estructura organizativa que resulta de QRM permite grandes mejoras en la productividad. Así, aunque inicialmente parezca que sería necesaria más mano de obra para implementar las políticas QRM, a largo plazo se constata que el aumento en productividad se traduce en menos mano de obra que antes para fabricar un mismo producto.
- Por último, los gastos generales se reducen sustancialmente. Todo esto se observa en la segunda barra de la Figura 4, que es incluso más baja que la última barra de la Figura 3.

En resumen, los gráficos de barras de las Figuras 3 y 4 ilustran la diferencia entre el pensamiento tradicional basado en costes y la filosofía QRM, basada en tiempo. Esta nueva forma de pensar se extiende más allá de las decisiones de fábrica. Para maximizar el éxito de los métodos de QRM es importante que todo el mundo, en todas las áreas de la empresa, participe del pensamiento basado en el tiempo.

4. El segundo pilar del QRM: Estructura organizativa ágil

4.1. Principal reto del QRM: Reducción del lead time

Supongamos un nuevo proceso compuesto por una secuencia de 10 pasos en el que se invierte 1 hora en cada paso (con tiempo de valor o “touch time” de 10 horas), que deberá ser realizado por 10 operarios. Es muy probable que cuando llegue este proceso no se pueda realizar y se demore cierto tiempo el comienzo de su ejecución debido al “overbooking” que habitualmente existe en las organizaciones tradicionales enfocadas a costes. Por tanto, primero se va a terminar lo que está pendiente de días, semanas o meses anteriores y, a continuación, se iniciará la ejecución del nuevo proceso.

Además, es un proceso que se añade a nuestra carga de trabajo habitual u “overbooking” particular, en el que el primer operario que está señalado en la secuencia y pueda, la comenzará, realizará su hora y, en cuanto termine, enviará un mail para que empiece el segundo que establece la secuencia. Al igual que sucedió con el primero, éste empezará cuando pueda, realizará su hora y cuando termine se lo enviará al siguiente, escribiendo el correspondiente mail; así, hasta llegar al último, es decir, se va colocando en cola realizando un FIFO estricto cada uno de los integrantes de la secuencia.

En este proceso está perfectamente acotado el espacio naranja establecido en 10 horas, pero de ninguna manera el espacio gris más el espacio naranja y, por tanto, se desconoce cuánto tiempo se necesitará en realizar todos los pasos. Una vez realizada la secuencia completa de pasos del proceso, se obtiene un tiempo de 2 meses, momento en el cual se plantea la necesidad de reducir este tiempo a la mitad o a menos de la mitad y, lo más importante, cómo se puede hacer sin añadir costes.

Probablemente, lo primero que se nos ocurra sea incrementar el número de operarios para ganar capacidad o que los implicados realicen una planificación, alertando con antelación, de su carga de trabajo. Este modo de pensar tradicional añade costes, bien por gastos de personal o bien por pérdida de tiempo en organizar y planificar, sin tener en cuenta que dicha planificación puede que no sea exactamente la realidad y algo falle.

Además, también hay que considerar, que este proceso no es más importante que otros procesos con los que puede coincidir en ese preciso instante, es decir, que no puede ser más importante el proceso del cliente nº 2 que el del cliente nº 3, puesto que no se trata de perjudicar a nadie. En QRM no se prioriza ni se perjudica a ningún cliente por el hecho de que generen más o menos negocio, sea una pequeña o gran cuenta, o sea más o menos exigente con los plazos de entrega.

No obstante, por ejemplo, cabe la posibilidad de realizar equipos de 2 integrantes, en el que cada uno de ellos aprenda las tareas que hace el otro. En esta nueva organización de los recursos, la recepción nuevamente de ese proceso es atendida por uno de los integrantes del equipo, que valora el alcance del trabajo a realizar en función de la preparación o nivel de competencia del mismo, consensuando cómo van de carga de trabajo. Así, el integrante que posea menor carga de trabajo atenderá el proceso, si está preparado y es competente para ello, invirtiendo un tiempo de 2 horas para realizar el trabajo, es decir, su hora y la hora correspondiente de su compañero. Así, esta estrategia irá repitiéndose con el resto de equipos que integran la secuencia del proceso.

De esta forma lógica y sencilla, se reducen las colas a la mitad (de 10 a 5) y, no sólo eso, además se quedan las colas de menor tiempo, es decir, las que poseen menos espacio gris. Por tanto, no ha cambiado nada, la cuenta de explotación no se ha visto incrementada, ya que siguen permaneciendo el mismo número de salarios (10 salarios). Sin embargo, se ha producido un cambio importante en la estructura organizativa y una pequeña inversión en polivalencia de la misma, consiguiendo reducir el lead time de 2 meses a 1 mes.

Para conseguir lo expuesto en el ejemplo anterior, aparecen dos nuevos retos del QRM:

- En primer lugar, conseguir que los procesos sean realizados por los mínimos recursos posibles (personas, máquinas, equipos, agentes externos, etc.) con el fin de reducir el número de colas por proceso y, por tanto, su lead time. Para ello, en este capítulo, se proponen nuevas estructuras organizativas para la consecución de este objetivo.
- En segundo lugar, reducir el tamaño de las colas que quedan en el proceso con ayuda de la dinámica de sistemas, objetivo que será tratado ampliamente en el capítulo 5 de este trabajo.

4.2. Cambios estructurales para la respuesta rápida

Según Suri (2014) es necesario hallar una nueva estructura para lograr una respuesta rápida ante demandas variables e imprevisibles, junto con un entorno de bajo volumen o productos personalizados, que mantenga la competitividad de nuestra empresa. En tal caso, es necesario efectuar cuatro cambios claves en la estructura organizativa (Figura 5).

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI



Figura 5. Estructura organizativa para respuesta rápida
Fuente: Suri (2014)

a) De funcional a celular

Se debe transformar la organización de departamentos funcionales en una organización formada por células denominadas células QRM, para lograr nuevos niveles de flexibilidad y resultados.

b) De control arriba-abajo a propiedad del equipo

En lugar de gerentes o supervisores que controlan los departamentos, los equipos de células QRM se autogestionan y tienen la propiedad total del proceso de entrega dentro de su célula.

c) De operarios especializados y muy estrechamente focalizados a una mano de obra polivalente

En vez de disponer de operarios especializados que realicen tareas concretas tan bien como les sea posible, se debe crear una organización polivalente donde sus miembros se capacitan para realizar tareas múltiples.

d) De los objetivos eficiencia/utilización a la reducción de MCT

Para apoyar esta nueva estructura se deben reemplazar las metas tradicionales de eficiencia y utilización, basadas en coste, por la meta de QRM basada en tiempo, que es un enfoque orientado en la reducción de MCT.

Los tres cambios anteriores más este nuevo enfoque, darán comienzo a las reducciones en MCT. Además, aunque se habrán eliminado las metas basadas en los costes, se obtendrán reducciones notables en los mismos costes y también se experimentarán mejoras continuas en la calidad global y cumplimiento en las fechas de entrega.

4.2.1. Clave 1: Organización en células QRM

En general, las células tradicionales están diseñadas para ser bastante inflexibles, ya que los trabajos tienen generalmente un flujo lineal con una secuencia de operaciones fijas y por tiempos a intervalos fijos (takt time), prefijados y dentro de las cuales cada operación debe ser completada. Este flujo simplificado y la regla del tiempo unitario ayudan a prevenir los cuellos de botella.

Las células QRM se diseñan para ser más flexibles que las tradicionales y no requieren tener un flujo lineal. Por ejemplo, dos trabajos diferentes que pasan por la célula pueden tener distintas asignaciones de ruta, ya que en una célula QRM es aceptable tener flujos no lineales y que difieren de trabajo en trabajo. Por tanto, en una célula QRM, con un mayor número de flujos de trabajo y variados tipos de trabajos, debemos asegurarnos que no haya cuellos de botella inesperados que provoquen retrasos de los trabajos. Tampoco, en ocasiones, es posible incluir todas las operaciones en una célula si se debe elaborar un producto muy complejo, donde existan multitud de operaciones que provoquen una célula demasiado grande y difícil de manejar. Un enfoque común es crear grupos de células, más pequeñas y manejables, para la fabricación de productos complejos. De este modo, cada producto final puede usar diferentes combinaciones de células para satisfacer sus requerimientos de producción.

En este caso, QRM utiliza cuatro estrategias para gestionar estos problemas:

1. La propiedad del equipo.
2. La capacitación polivalente.
3. La elección de la métrica.
4. El enfoque QRM sobre la capacidad de planificación.

La combinación de estas cuatro estrategias permite a la célula operar con eficacia, frente a múltiples tipos de trabajos, con diferentes asignaciones de ruta. Esta flexibilidad, sin alterar los resultados, es una de las principales fortalezas de las células QRM.

Las células QRM siempre se proyectan entorno a un FTMS (Focused Target Market Segment o Segmento de Mercado Objetivo y Enfocado). Se llama FTMS a la búsqueda inicial y posterior afinamiento y enfoque de una situación donde exista una clara oportunidad de beneficio a través de la reducción del tiempo de respuesta. Es crítico realizar un buen trabajo al definir los FTMS para los proyectos QRM. Dependiendo de los productos, procesos y el alcance de nuestro proyecto QRM, hay muchas maneras diferentes de llegar a un FTMS.

Según Suri (2014), una célula QRM es un conjunto de recursos multifuncionales especializados, dedicados y agrupados, de modo que pueda completar una sucesión de operaciones para todos los trabajos que pertenecen a un FTMS especificado. Estos recursos incluyen un equipo de personas polivalentes que poseen la propiedad total del funcionamiento de la célula. La meta primaria de un equipo de célula QRM es la reducción del MCT de la célula. Es importante observar que la definición de célula QRM está expresada de manera tal que permite que sea utilizada tanto en planta como en otras áreas de la organización.

Las células QRM difieren de las células tradicionales implementadas en la industria. Buena prueba de ello, es que en ninguna parte en esta definición se hace mención alguna a los tiempos de ciclo (takt time) en el diseño de la célula.

Hay varios conceptos importantes utilizados en la definición de las células QRM que tienen un significado específico:

- Recursos dedicados

Los recursos asignados a una célula QRM se dedican totalmente a esa célula, es decir, si un recurso se ubica en la célula, sólo debe usarse para trabajos que se asignan a esa célula (está en el FTMS) y no para otros trabajos. Cuando introducimos trabajos en la célula que no están en el FTMS, se desorganiza el funcionamiento de la misma.

- Agrupación de recursos

Los recursos que forman una célula QRM deben disponerse en proximidad, en un área claramente asignada como perteneciente a la célula. Esto significa que los recursos (personas o máquinas) deben ubicarse físicamente en esta nueva área. El simple acto de trasladar los recursos físicamente y crear el área asignada a la célula QRM transmite un mensaje unívoco a la organización de que la gerencia está comprometida con la estrategia QRM.

- Recursos multifuncionales

Los recursos deben ser multifuncionales, es decir, abarcar diferentes funciones. El propósito de una célula QRM es evolucionar de una organización funcional o gremial tradicional, donde un grupo de recursos completa una función, a una nueva estructura organizativa donde se completen varios pasos funcionales diferentes en un área.

- Complete una secuencia de operaciones

El objetivo es que una vez que un trabajo llega a la célula, se ejecuten una serie de operaciones en el mismo antes de que salga, sin tener que entrar y salir

repetidamente de la célula, ya que las células QRM son más flexibles que las células tradicionales. La secuencia de operaciones puede ser distinta para los diferentes trabajos en los FTMS, pudiendo éstos retornar a la misma máquina para un segundo o incluso tercer paso. La idea es que todos estos procedimientos se efectúen dentro de la célula y que, cuando el trabajo deje la célula, no necesite volver. Dado que los recursos en una célula QRM están dedicados, agrupados y deben poder completar una sucesión de operaciones, se requiere un análisis y una lluvia de ideas “brainstorming” para decidir qué recursos deben ser incluidos para satisfacer estos criterios.

4.2.2. Clave 2: Propiedad del equipo

La segunda clave del cambio estructural consiste en:

- Evitar una organización donde gerentes y supervisores les digan a las personas lo que deben hacer.
- Promover una organización donde los equipos tengan responsabilidad total de los procesos dentro de sus células.

Generalmente en planta, un supervisor de departamento asigna las tareas a los operarios, decide sobre los trabajos y sus prioridades y, si es necesario, traslada a las personas. En una célula QRM el equipo recibe los trabajos junto con las previsiones de ejecución. Además, en las células QRM la forma en cómo se cumplen estos trabajos es responsabilidad absoluta del equipo.

El personal de la célula es el máximo responsable del funcionamiento dentro del dominio de la célula. El equipo decide qué trabajo se iniciará a continuación, quién lo ejecutará y en qué máquina, o quién ayudará a quién. El equipo también decide si es necesario detenerse para resolver un problema de calidad o efectuar una reunión de equipo, incluso algunos equipos tienen la flexibilidad de realizar horas extras o acortar la jornada laboral, dentro de los parámetros establecidos por la gerencia.

Con frecuencia, la gerencia subestima el poder de la propiedad del equipo. Cuando las personas deben rendir cuentas y no tienen voz sobre el desempeño de su trabajo, el resultado es frustración, desmotivación, apatía y pasotismo en algunos casos, porque no se sienten valorados por la gerencia. En cambio, cuando las personas tienen la responsabilidad, están motivadas y se les da la autoridad sobre sus decisiones, no sólo llegan a la altura de las circunstancias, sino que habitualmente superan las expectativas establecidas por gerencia.

4.2.3. Clave 3: Inversión significativa en capacitación polivalente

En el contexto de QRM, hay razones significativas para capacitar transversalmente al personal asignado a las células:

- La primera razón importante es que los trabajos en las células QRM son muy variados en sus necesidades, por lo cual, los cuellos de botella cambian día a día y de trabajo en trabajo. La capacitación transversal genera una mano de obra flexible que puede movilizarse para asignar capacidades, dondequiera que se presenten los cuellos de botella en un momento determinado. En otras palabras, para aprovechar eficazmente la variabilidad estratégica es necesario invertir estratégicamente en formación transversal o multifuncional.
- La segunda razón importante para formar en polivalencia es que con las actuales máquinas-herramientas automatizadas o semi automatizadas, no se requiere un operario para cada equipo.
- El tercer argumento para formar en polivalencia se fundamenta en la consecución de mejoras continuas a medio y largo plazo.

A medida que los equipos de trabajo se familiarizan más con los tipos de trabajos en el FTMS, aumenta significativamente el potencial para que ellos propongan ideas de mejora. Por el contrario, en un departamento funcional tradicional, cada trabajo puede ser tan diferente del próximo que no se aprecia ningún patrón para ayudar a proponer ideas de mejora.

En ocasiones, no entender el alcance de la capacitación transversal, llevará a la dirección a dudar en invertir en este tipo de formación porque parece requerir mucho tiempo del personal. Por ejemplo, para capacitar a un operador de máquina con el fin de convertirlo en un experto en un nuevo tipo de máquina sin ayuda podría necesitar algunos meses de entrenamiento. Sin embargo, la capacitación en el contexto de células QRM es más enfocada y alcanzable en un período de tiempo más corto. La clave aquí consiste, una vez más, en que una célula QRM se diseña para centrarse en los trabajos de un FTMS en particular. Así, en el ejemplo anterior de los operadores de máquinas, la meta de la formación en polivalencia no ha sido “ser un operador experto”, sino más bien, aprender únicamente a realizar aquellas operaciones requeridas por los trabajos en un FTMS determinado. Así, reduciendo el tipo de entrenamiento necesario para operar una máquina en una célula QRM, descubrimos que la capacitación transversal es mucho más procedente y justificable de lo esperado y que personas con habilidades iniciales más limitadas pueden llevar perfectamente maquinaria más sofisticada con confianza y con resultados de calidad.

Otra consideración a tener en cuenta sobre el alcance de la capacitación transversal es determinar qué operadores deben entrenarse primero y en qué

máquinas. Para ello, se utiliza una matriz de capacitación transversal, donde las filas son etiquetadas con los nombres de los integrantes del equipo y las columnas con las habilidades requeridas en la célula para realizar todas las tareas que podrían necesitarse en los trabajos en el FTMS. Se empieza realizando una entrada de un 1 o un 2 en cada cuadrado de la matriz donde un miembro del equipo tiene esa habilidad: un 1 denota que el miembro puede realizar esa tarea a un nivel satisfactorio, mientras que un 2 indica que la persona posee bastante especialización en esta habilidad, por lo que puede entrenar a otros en ésta. Si el miembro del equipo no posee esa habilidad o se siente inseguro en ella, se deja el cuadrado en blanco. Después de que se ha completado esto para todo el equipo, esta matriz aporta inmediatamente una evaluación visual de las habilidades del equipo donde se podrá apreciar, por un lado, qué miembros del equipo tienen las menores habilidades y, por otro, qué habilidades cuentan con la menor cantidad de miembros del equipo que pueden realizarlas.

Con la información que arroja la matriz de capacitación transversal, se puede iniciar el diseño del programa de formación en polivalencia en los siguientes pasos:

1. La primera meta del programa de formación en polivalencia debe asegurar que hay, por lo menos, dos miembros del equipo que sean competentes en cada especialidad.
2. Una segunda meta debe ser la creación de un programa de entrenamiento para los integrantes del equipo menos experimentados.
3. Complementando a esto, la tercera meta debe consistir en asegurar que los miembros más experimentados del equipo tienen la responsabilidad para realizar la formación en polivalencia requerida.
4. Si la matriz resalta áreas donde nadie en el equipo tiene suficiente experiencia o la suficiente seguridad para capacitar a otros miembros, entonces se deben solicitar recursos externos a la célula para realizar la capacitación.

Estos cuatro pasos conseguirán poner en marcha la formación en polivalencia de forma rápida y correcta. Cuando estas metas de capacitación iniciales se logren y el equipo adquiera más experiencia con la organización en células y los trabajos de FTMS, tendrá una buena comprensión de lo que necesita y entonces podrá ser responsable del establecimiento de las siguientes metas de formación para mejorar su funcionamiento.

4.2.4. Clave 4: Focalizado en la reducción de MCT

Las empresas siguen midiendo los resultados de las células utilizando la métrica tradicional. Por ejemplo, si un operario de una máquina recibe su incentivo en función de la eficiencia o utilización de la máquina, parece complicado que pueda seguir recibéndolo si dedica parte de su tiempo de trabajo en invertirlo en reuniones del equipo, formación en polivalencia o mejoras de calidad. Por ello, los incentivos se deben alinear a la filosofía QRM, de lo contrario, este operario bajará la cabeza y se concentrará en confeccionar el mayor número de piezas posible manteniendo la máquina ocupada. En este sentido, es muy importante tener definida una métrica adecuada. En QRM, la medida básica e inequívoca del rendimiento es el MCT de la célula.

Así, mientras el valor del MCT esté bajando, la gerencia no se debe preocupar de quién está operando qué máquina, si el equipo está utilizando mucho tiempo en reuniones o si una máquina en particular parece estar ociosa de vez en cuando, porque si el MCT está disminuyendo, el equipo seguramente está haciendo las cosas bien. Por otro lado, si los valores del MCT se vuelven estables o empiezan a subir, es una primera señal para la gerencia de que el equipo puede necesitar ayuda. Entonces se debería pensar en proporcionar apoyo experto al equipo, para ayudarlo a descubrir los problemas y volver a mejorar su eficacia.

4.3. El número QRM

En QRM es muy importante definir una métrica adecuada que no sólo sea capaz de medir el MCT, sino que sea realmente una métrica que mida con eficacia la reducción del MCT, nos dé información al resto de la organización sobre el grado de desempeño de las medidas adoptadas por el equipo dentro de cada célula y sea de utilidad para ayudar a motivar a los miembros de dichos equipos. En QRM esta métrica existe y se denomina “número QRM”.

Si tenemos en cuenta una célula QRM creada recientemente, medimos su MCT promedio por un período de referencia o base y, a continuación, se mide el MCT en el período actual y siguientes, entonces el número QRM para cada período está definido por:

$$\text{Número QRM actual} = \frac{\text{MCT del período base}}{\text{MCT del período actual}} \times 100$$

Como aparece el MCT del período actual en el denominador, esta circunstancia nos permitirá obtener una serie de ventajas directas e indirectas. Tal y como muestra la Figura 6, si disminuye el valor MCT del período actual, entonces el número QRM aumenta. También tendríamos la situación contraria, es decir, si aumenta el valor MCT del período actual, el número QRM disminuye. Por tanto, es un buen indicador que el equipo realiza su trabajo con eficiencia.

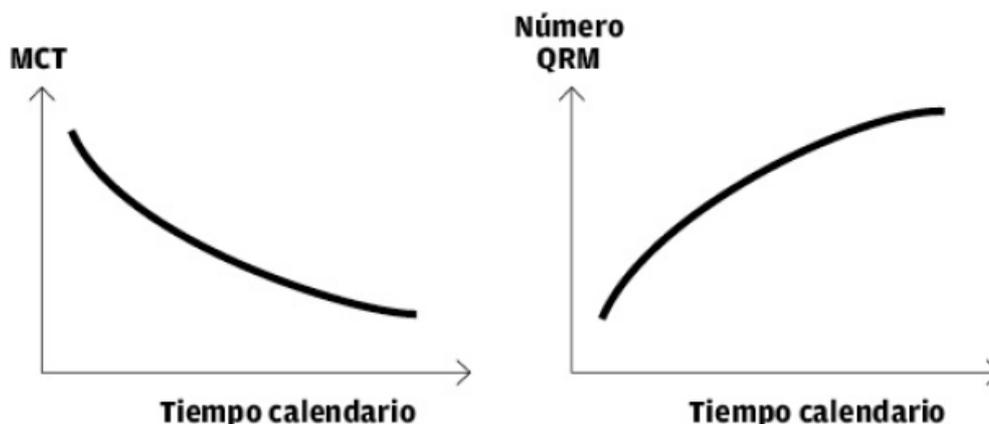


Figura 6. El número QRM motiva a los equipos a reducir el MCT

Además, conseguimos un efecto motivador para el equipo y una muy buena medida sobre su desempeño, ya que la reacción de los miembros del mismo es más positiva a valores de número QRM que aumentan frente a valores de número QRM que disminuyen. En definitiva, con el número QRM logramos exactamente la medida de ese efecto motivador.

4.4. Nuevas estructuras organizativas. Áreas autogestionadas de alta responsabilidad

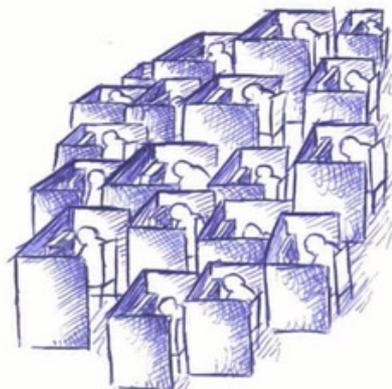
En la mayoría de las empresas se diseñan estructuras organizativas clásicas dejando que todo teóricamente encaje, bien escrito y documentado, con organigramas jerárquicos y funcionales perfectamente definidos, asignación inequívoca de funciones y responsabilidades a los diferentes integrantes de la organización tanto individuales como colectivas. Además, tenemos la creencia que este tipo de estructura funciona ampliamente en las organizaciones y que todo es cuestión de trabajo individual, y no siempre es así.

De hecho, adoptar una estructura organizativa clásica, si nuestra estrategia está dirigida hacia la mejora continua, es una decisión poco acertada en muchos entornos de producción y nada acertada en oficinas, ya que no existen dos días iguales y prácticamente nada que se pueda crear a título individual. La experiencia indica que la unión de las distintas áreas o departamentos pueden estar desalineadas y no tengan demasiado sentido cuando únicamente le añadimos el simple hecho de que sus miembros realicen bien su trabajo, pensando solamente en su interés personal. Esta disruptiva queda patente desde el primer momento en el propio organigrama de una empresa clásica, donde los únicos departamentos que suelen tener relación con el cliente son comercial, marketing, desarrollo de negocio o dirección, y no otros como compras y calidad, que se sitúan lejos de los clientes. La Figura 7 muestra la diferencia entre una estructura organizativa clásica frente a un enfoque QRM, el cual presenta una estructura organizativa de personas, equipos, departamentos, áreas, etc., polivalentes conectados entre sí, a modo de una red neuronal.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

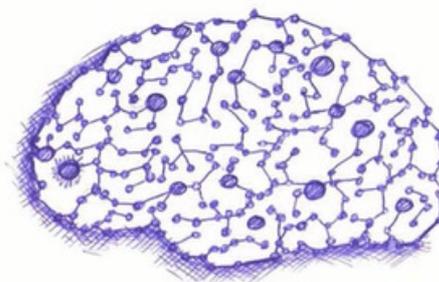
Estructura organizativa clásica

Comunicación lineal



Estructura organizativa QRM

Comunicación neuronal



Personas o equipos expertos mono tarea Personas o equipos polivalentes conectados

Figura 7. Estructura organizativa clásica frente QRM

Fuente: Propia

A principios del Siglo XX surge el “Taylorismo”, modelo teórico que desarrolló el ingeniero y economista norteamericano Frederick Winslow Taylor el cual se basaba en la aplicación de métodos científicos al estudio de la relación entre la mano de obra y las técnicas modernas de producción industrial, con el objetivo de maximizar la eficiencia, mediante la división sistemática de las tareas del proceso productivo, la organización racional del trabajo en sus secuencias y procesos, y el cronometraje de las operaciones, más un sistema de motivación mediante el pago de primas al rendimiento, suprimiendo toda improvisación en la actividad industrial. El fin de este nuevo método de organización industrial era aumentar la productividad y evitar el control que el trabajador podía tener sobre los tiempos de producción. No obstante, aunque la organización del trabajo bajo la perspectiva taylorista redujo de forma efectiva los costes de las empresas manufactureras, desatendió los derechos de los trabajadores, lo que dio lugar a numerosas huelgas en las que pedían mayores salarios.

Tras Taylor surge Henry Ford, ingeniero industrial norteamericano que fundó la Ford Motor Company en 1903. Su mayor éxito fue el de conseguir mejorar el modelo de Taylor, llevando a la práctica la producción en serie, la línea de montaje, la estandarización e intercambiabilidad de las piezas, a la vez que cuidaba los derechos de los trabajadores. El principal objetivo de Ford era el de fabricar coches en serie para reducir los costes de producción del automóvil, lo que le permitiría bajar el precio de venta y aumentar la demanda, el mercado y los ingresos.

Este sistema comenzó en 1908 con la producción del Ford T con una combinación y organización general del trabajo altamente especializada y reglamentada a través de cadenas de montaje, maquinaria especializada,

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

salarios más altos y un elevado número de trabajadores en plantilla. Otros aspectos destacables fueron la exportación como medio de expansión comercial, la participación en los beneficios de todo el personal y un sistema de ventas a crédito que permitía a todos sus trabajadores poseer un automóvil. En poco tiempo las ventas se multiplicaron y el Ford T de color negro (el único color que se utilizaba por su rápido secado) se convirtió en el coche del pueblo en una sociedad en la que, hasta entonces, un automóvil había sido un artículo de lujo.

El reto actual de las empresas pasa por abandonar un sistema de producción taylorista de hace más de 100 años, donde unos piensan y otros trabajan, donde todo está estandarizado; a otro sistema de producción, donde no hay nada o casi nada estándar, repetitivo, previsible y constante (Figura 8). En este sentido, QRM apuesta por el liderazgo grupal, que aporta la autogestión. Ahora, los miembros de las organizaciones necesitan tener retos para estar motivados y comprometidos, quieren crecer profesionalmente, sentirse realizados en sus puestos de trabajo y respaldados por su organización.

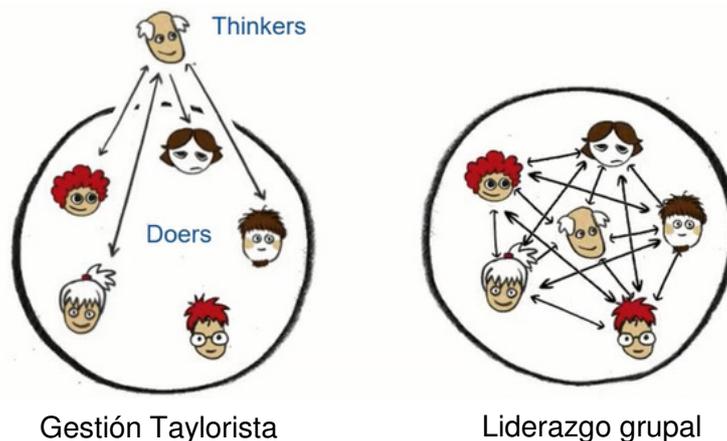


Figura 8. Modelos de gestión de equipos o áreas
Fuente: Propia

En QRM, los organigramas son sistemas planos o circulares, donde las personas o equipos trabajan en procesos o proyectos de principio a fin, siendo los máximos responsables de su ejecución. La Figura 9 muestra un organigrama circular típico en QRM.

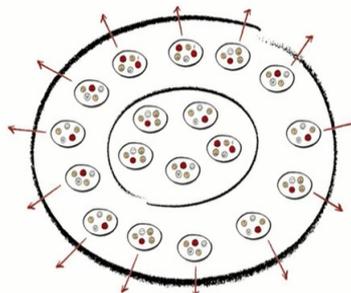


Figura 9. Organigrama circular típico en QRM
Fuente: Propia

La Figura 9 presenta un organigrama con un círculo interior y otro exterior que incluyen una serie de áreas autogestionadas. Fuera del círculo exterior, donde apuntan las flechas, estaría el mercado junto con los clientes, en definitiva, nuestro negocio. Desde la perspectiva de QRM, se trata por un lado de, crear una estructura organizativa con una serie de células perimetrales de alto valor añadido enfocadas al mercado, cercanas al cliente, área geográfica, familia de productos, etc.; y por otro, posicionar las mismas en el límite del círculo exterior porque es en esta situación, donde se diseña, se oferta y se fabrica, donde en todo momento se está mejor conectado y relacionado con el cliente (lo que quiere, lo que no le gusta, cuáles son sus preferencias, etc.), la innovación y desarrollo de nuevos productos (I+D), etc. En resumen, cualquier miembro, equipo o área que genere valor y esté en contacto con el cliente, debe estar junto a él.

Siguiendo con la Figura 9, en el círculo interno existen una serie de células centrales situadas lejos del cliente que se encargan de dar soporte, cuyo principal cometido es centralizar servicios generales o proveer de información transversal, por ejemplo, contabilidad y una parte de administración, algo de recursos humanos, controller que generan indicadores, facturación, etc. No es perjudicial que estas áreas o células centrales estén lejos del cliente o mercado, puesto que en la mayoría de casos están al servicio de las células perimetrales.

La estrategia QRM busca la creación equipos o áreas de trabajo autogestionados, sin un mando que les indique a cada momento que deben o tienen que hacer, ya que este tipo de conductas provocan relajación y desmotivación de los miembros del equipo. Estas consecuencias son propias de estructuras verticales donde los miembros compiten para ascender dentro la organización dejando, por tanto, de trabajar en equipo.

Una aptitud típica de los responsables, directores, jefes, etc. en la empresa clásica es la de ir recogiendo premios y galardones por haber conseguido, por ejemplo, incrementos de productividad, aumentos de clientes o reducción de gastos. Sin embargo, en una estructura organizativa autogestionada, los méritos y éxitos alcanzados deben recaer sobre el equipo o área ya que son los verdaderos artífices, quedando los mandos en un segundo plano como:

- Inspiradores y motivadores para que el equipo alcance nuevas metas y retos.
- Soporte o apoyo en lo que puedan necesitar.

Otro factor a tener en cuenta es la moral colectiva, que ayuda a que las personas se comporten de manera ética y responsable. Cuando se realiza el cambio a QRM en el seno de una organización, las nuevas áreas de trabajo son dotadas de recursos materiales (máquinas, herramientas) y humanos (ingenieros, técnicos de calidad, de mejora continua o producción), formación y capacitación en nuevos procedimientos y técnicas. En definitiva, todo lo

necesario que demanda la nueva célula en el ejercicio de una autogestión responsable, evitando así excusas y frustraciones de sus miembros.

Como conclusión podemos decir que el gran cambio que propone QRM es éste, la creación de nuevas estructuras organizativas autogestionadas y responsables.

4.5. Estructuras organizativas ágiles

Como hemos visto en el apartado 4.4 de este capítulo, el sistema organizativo es clave. Si se quieren “agilizar” los procesos para reducir el lead time se tendrá que:

1. Reducir los pasos y los protagonistas en los procesos de la empresa.
2. Cambiar la forma del organigrama: se necesita eliminar los gestores y controladores, ya que no aportan valor y ralentizan la toma de decisiones (Figura 10).
3. Crear células de proceso: áreas que gestionan procesos completos, en vez de funciones “gremiales”.

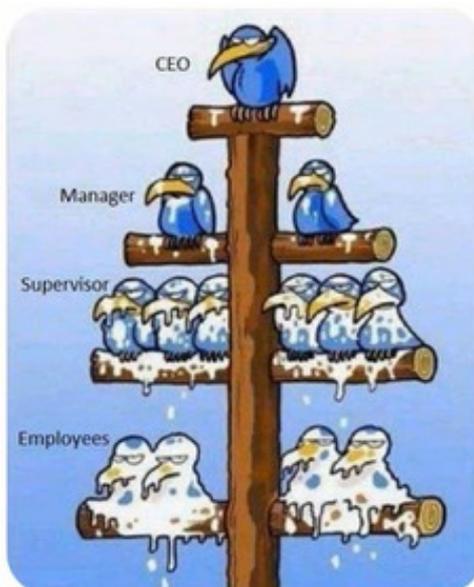


Figura 10. Estado organigrama clásico frente a la toma de decisiones
Fuente: Propia

Desde un enfoque QRM, los procesos deben pasar por el menor número de personas cuando han de intervenir en la toma de decisiones, intentando reducir la verticalidad de la empresa, y no solamente porque es dañina y tóxica para el resto de la organización implicada en los niveles inferiores, sino que en muchas ocasiones provoca que los procesos tengan que subir y bajar escalones, que de lo contrario no existirían.

Por citar algunos ejemplos, en ocasiones, recibimos correos electrónicos urgentes de un responsable jerárquico superior imponiendo la resolución inmediata de algún asunto que provoca que desatendamos otros importantes o, existen procesos en distintas partes de la organización que año tras año tienen que subir a niveles superiores para que alguien del mismo autorice su aprobación añadiendo retrasos innecesarios o, a la hora de cotización de grandes ofertas por su interés estratégico o volumen, deban ser supervisadas por el responsable del departamento comercial dilatando así el plazo de presentación y provoque que seamos menos competitivos, etc.

En todos estos ejemplos, se dota de máxima prioridad a un sistema vertical que permite concentrar el poder o la toma de decisiones en los niveles superiores. Así, QRM busca que los procesos no tengan la necesidad de subir y bajar entre niveles organizativos y que la estrategia de ser rápidos siempre impacte en el mercado y en la competencia. Esta es la verdadera fortaleza de QRM.

Una razón de por qué QRM intenta modificar la estructura organizativa creando células autogestionadas, es aumentar el grado de implicación de sus miembros dentro de la organización⁷. Se sabe que los miembros de las organizaciones que pertenecen a los niveles estratégicos (dirección) son los que están más altamente implicados, disminuyendo el grado de implicación a medida que se desciende desde el nivel organizativo, al que pertenecen el resto de mandos intermedios, hasta el nivel operativo, donde se sitúan los miembros de la base de la organización, quedando patente que la verticalidad prácticamente elimina la implicación de la misma.

Desde la perspectiva QRM, se intenta generar un entorno favorable a la implicación dentro de la áreas o células de trabajo, donde los retos y los elementos necesarios del área se combinan para que sus miembros se auto realicen y se sientan motivados y orgullosos de su trabajo.

Otra de las razones por las que QRM influye en la estructura organizativa se muestra en la Figura 11, donde se reflejan las interacciones entre áreas. Este ejemplo representa una empresa formada por 120 empleados, cada empleado es una bolita de un color y cada círculo naranja es un departamento clásico o área funcional compuesto por especialistas (monofunción).

⁷ Fuente: Q12 Gallup 2016, 35 Mill trabajadores, 45 países. Nivel de implicación en la pirámide organizativa.

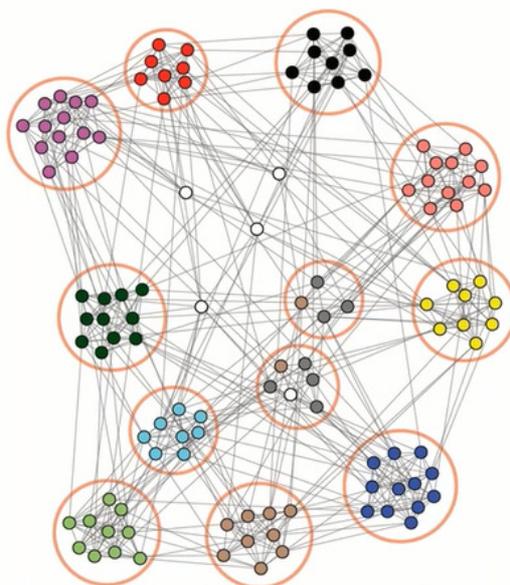


Figura 11. Interacciones entre áreas de una organización⁸
Fuente: Propia

Cuando se reflejan todas las interacciones y se cuantifica en un intervalo de 3 días (72 horas) el tiempo que invierten los miembros sólo para comunicarse entre ellos (mail, reuniones, llamadas, etc.), se obtiene que un 32% del total de empleados (39 empleados full time) desaprovechan su tiempo sólo en mover información.

Desde un enfoque QRM, haciendo cambios en la organización y agrupando las áreas por procesos, proyectos, clientes, etc., las interacciones que van a desaparecer serán todas aquellas que conectan los círculos naranjas, es decir, todas las interacciones exteriores a las áreas. Esta importante reducción en las interacciones se debe a la creación de áreas formadas por empleados que habitualmente trabajan juntos y comparten información frecuentemente, aunque pertenezcan a otros departamentos como logística, comercial, compras, etc.

Cuando se rediseña la organización y se reagrupa a los empleados siguiendo estos criterios, las interacciones exteriores son nulas y las internas casi nulas y, simultáneamente, se intenta crear equipo basado en la confianza y no en la competitividad en cada una de estas nuevas áreas. Además, se obtiene un ahorro económico importante, que en el ejemplo de la Figura 11, corresponde a los sueldos de 39 empleados.

⁸ Rango de estudio: 120 empleados, 3 días (72 horas)
Resultados: 9623 e-mail (aprox. 800 h), 7 reuniones día x 6 personas=145 h.
Impacto: Horas a compensar con estructura clásica=800+145=945 h.
Horas totales=120 empleados x 8 h./día x 3 días=2880 h.
Tiempo perdido:945/2880=32% (39 empleados full time)

4.6. Autogestión para la creación de equipo en QRM

QRM va más allá de intentar sólo modificar la estructura organizativa para formar células autogestionadas, QRM “crea equipo”.

En primer lugar, una transformación importante de QRM es educar en liderazgo de servicio a los líderes (directivos y mandos intermedios) que siguen existiendo en la organización, tienen conexión directa con las células y carecen de habilidades que les permiten ser aptos para ejercer tareas de líder. El nuevo líder QRM debe abandonar la imagen de mando clásico, y el sentido de su existencia no es otro que el de dirigir al equipo hacia la excelencia. Otra labor que debe desarrollar, es la de llevar a la célula a niveles de responsabilidad y compromiso elevados, formarla transversalmente en diferentes disciplinas, dotarla de medios para que pueda tomar decisiones y permitirle el acceso a la información con transparencia dentro de la organización; de lo contrario, la energía y motivación de la célula disminuye y deja de ser creativa.

En segundo lugar, otra transformación importante QRM es crear autogestión real en los equipos, “creando equipos”, para que los miembros de la célula tengan como única prioridad el objetivo marcado desde la dirección, antes que su propio beneficio.

Existen multitud de métodos para la creación de equipos, siendo normalmente el más utilizado en QRM el citado en el libro “Las cinco disfunciones de un equipo: un inteligente modelo para formar un equipo cohesionado y eficaz” de P. Lencioni (2002).

Según Lencioni (2002) construir un equipo cohesionado es difícil, pero no es complicado. De hecho, la sencillez es crucial, ya sea para un equipo ejecutivo en una empresa multinacional, para un pequeño departamento dentro de una organización mayor o, incluso, para un equipo que necesita mejorar.

Las organizaciones no logran trabajar en equipo porque involuntariamente caen presa de cinco obstáculos naturales pero peligrosos, conocidos como “las cinco disfunciones de un equipo”. Estas cinco disfunciones pueden ser erróneamente interpretadas como cinco asuntos que pueden tratarse aisladamente; pero, en realidad, constituyen un modelo interrelacionado y son potencialmente letales para el equipo el fallo en cualquiera de estos cinco aspectos.

Disfunción 1: Ausencia de confianza

La primera disfunción es la “ausencia de confianza” entre los miembros del equipo. Esto surge, esencialmente, de su falta de disposición para ser vulnerables en el grupo. Los miembros del equipo que no están dispuestos a

abrirse ante los otros para aceptar errores y debilidades imposibilitan la construcción de los cimientos de la confianza.

La confianza es el fundamento de un equipo cohesionado y que funciona. Sin la confianza el trabajo en equipo es imposible.

En el contexto de la construcción de un equipo, la confianza es la seguridad que tienen los miembros del equipo sobre las buenas intenciones de sus compañeros, sólo así no hay razón para ser ni protector ni cauteloso en el seno del grupo. Esencialmente, los compañeros de equipo tienen que sentirse cómodos siendo vulnerables unos con otros.

Esta descripción contrasta con una definición más estándar de confianza que se centra en la capacidad de predecir la conducta de una persona según la experiencia anterior, pero no basta para representar el tipo de confianza que es propio de un gran equipo. Para ello, se requiere que los miembros del equipo sean vulnerables entre ellos y tengan la seguridad de que sus respectivas vulnerabilidades tales como debilidades, deficiencias de capacidad, defectos en las relaciones personales, errores y peticiones de ayuda, no serán utilizadas en su contra.

Los miembros de un equipo se sentirán verdaderamente cómodos sólo cuando estén expuestos entre ellos, momento en el que empiezan a actuar sin preocuparse de protegerse a sí mismos. El resultado es que pueden centrar completamente su energía y atención en el trabajo y dejan de actuar deshonestamente por estrategia o por mantener cuotas de poder.

Lograr confianza fundada en vulnerabilidad no es fácil, porque nos han enseñado a ser competitivos y a proteger nuestra reputación. Lo que se requiere exactamente es controlar esos instintos por el bien del equipo, constituyendo todo un desafío para ellos.

El coste de fracasar en esto es muy alto. Los miembros de los equipos donde falta confianza desperdician una cantidad enorme de tiempo y energía controlando su conducta e interacciones dentro del grupo. Tienden a temer las reuniones y son reticentes a la hora de asumir riesgos pidiendo u ofreciendo ayuda. El resultado es que la moral de los miembros de los equipos desconfiados suele ser muy baja, siendo frecuentes las renuncias, bajas o cambios de personal.

Desgraciadamente, construir confianza en un equipo basada en la vulnerabilidad no es inmediato. Requiere compartir experiencias en el tiempo, múltiples instancias de seguimiento y credibilidad, y una comprensión profunda de los atributos únicos e individuales de los miembros del equipo. Sin embargo,

si se hace un planteamiento bien enfocado, un equipo puede acelerar radicalmente el proceso y lograr confianza en un tiempo relativamente breve.

Entre las herramientas para conseguirlo podemos citar las siguientes:

- Ejercicio de historias personales.
- Ejercicio de eficacia del equipo.
- Perfiles de personalidad y preferencia de conducta.
- Intercambio total de impresiones (360 grados).
- Ejercicios de experiencias en equipo.

La acción más importante que un líder debe emprender para impulsar la construcción de confianza en un equipo es demostrar primero su propia vulnerabilidad. Esto requiere que tanto el líder como sus subordinados se arriesguen a ser vulnerables ante el equipo. Además, y muy importante, los líderes deben crear un ambiente donde no se castigue la vulnerabilidad, incluso los mejores equipos pueden llegar a reducir los niveles de confianza, castigándose mutuamente, admitiendo debilidades o fracasos.

Por último, la manifestación de debilidades debe ser genuina por parte del líder, es decir, que no se puede fingir. Uno de los mejores modos de perder la confianza de un equipo es fingir vulnerabilidad para manipular las emociones de los otros.

Resumiendo, al construir confianza, el líder hace posible el conflicto, porque los miembros del equipo no vacilan en entregarse a debates apasionados y a veces emocionales, a sabiendas de que no se les castigará por decir algo que, en otras circunstancias, se podría interpretar como destructivo o crítico. De esta forma, conectamos con la disfunción 2, el temor al conflicto.

Disfunción 2: Temor al conflicto

El fracaso de construir confianza es perjudicial porque propicia la segunda disfunción: el “temor al conflicto”. Los equipos que carecen de confianza son incapaces de entregarse a discusiones de ideas de forma apasionada, recurriendo, en cambio, a conversaciones poco claras y a comentarios discretos.

Todas las grandes relaciones, las que perduran en el tiempo, requieren de conflictos productivos para crecer. Esto vale para el matrimonio, la paternidad, la amistad y, por cierto, para los negocios.

Desgraciadamente, el conflicto es asunto tabú en muchas situaciones, especialmente en el trabajo, y cuanto más alto llegues en la cadena de la dirección de la empresa, más gente encontrarás que gasta enormes cantidades de tiempo y energía tratando de evitar los debates apasionados, esenciales para todo gran equipo.

Es importante distinguir entre conflicto ideológico productivo y lucha destructiva y personal por el poder. El conflicto ideológico se limita a conceptos e ideas, y evita centrarse en cuestiones personales y en ataques mezquinos. Sin embargo, puede contar con muchas de las cualidades exteriores del conflicto interpersonal tales como pasión, emoción y frustración, de tal manera que un observador externo puede confundirlo fácilmente con discordia improductiva. Sin embargo, los equipos que se entregan al conflicto productivo saben que su único propósito es generar la mejor solución posible en el menor espacio de tiempo. Para ello, discuten y resuelven problemas más rápidamente que otros, saliendo de acalorados y apasionados debates sin sentimientos residuales ni daños individuales, pero dispuestos a atacar el próximo problema importante.

Irónicamente, los equipos que evitan el conflicto ideológico para no herir los sentimientos de sus miembros suelen terminar alentando una peligrosa tensión entre ellos. Si los miembros de un equipo no discuten abiertamente y discrepan sobre ideas importantes suelen incurrir en ataques personales que son mucho más desagradables y dañinos que cualquier discusión sobre problemas concretos. También resulta irónico que tanta gente evite el conflicto en nombre de la eficiencia, porque el conflicto saludable en realidad ahorra tiempo. Al contrario de la creencia que apunta a que los equipos desperdician tiempo y energía discutiendo, los que evitan el conflicto se condenan a volver una y otra vez sobre los mismos problemas sin resolverlos. Suelen pedir a los miembros que se hagan cargo de sus problemas fuera del equipo, lo que parece un rodeo por evitar el trato de un tema importante, volviéndose este a presentar en la siguiente reunión.

El primer paso para que un equipo pueda desarrollar la capacidad y disposición de comprometerse a iniciar un conflicto saludable es reconocer que el conflicto es productivo y que muchos equipos tienden a evitarlo. Mientras algunos miembros del equipo crean que el conflicto es innecesario, hay pocas posibilidades de que suceda. Existen algunos métodos sencillos para que el conflicto sea más habitual y productivo:

- Excavar.
- Autorización sobre la marcha.
- Otras herramientas.

Uno de los mayores desafíos que afronta un líder que quiere promover conflictos saludables es su propio deseo de no perjudicar a los miembros del equipo. Esto conduce a interrupciones prematuras de los desacuerdos e impide que los miembros del equipo desarrollen capacidades adecuadas para tratar por sí mismos los conflictos.

Por lo tanto, es clave que los líderes demuestren mesura cuando la gente se sumerge en un conflicto y que permitan que la solución ocurra de manera natural. Esto puede constituir todo un desafío, pues muchos líderes creen que no están haciendo bien su trabajo si pierden el control de sus equipos durante una situación conflictiva.

Por último, hay que decir, que es esencial que un líder tenga la capacidad de modelar personalmente una conducta apta para el conflicto. Si evita el conflicto cuando es necesario y productivo, y muchos ejecutivos lo hacen, un líder de equipo puede incitar esta disfunción.

En resumen, si se admite el conflicto productivo y se detectan las opiniones y perspectivas de los miembros del equipo, éste puede aceptar una decisión con confianza sabiendo que todos se han beneficiado de las ideas de todos. De esta manera, conectamos con la disfunción 3, la falta de compromiso.

Disfunción 3: Falta de compromiso

La falta de conflicto es un problema porque refuerza la tercera disfunción de un equipo: la “falta de compromiso”. Sin airear sus opiniones en el curso de un debate abierto y apasionado, en escasas ocasiones los miembros de un equipo aceptan verdaderamente las decisiones y se comprometen con ellas, fingiendo estar de acuerdo durante las reuniones.

En el contexto de un equipo, el compromiso depende de dos cosas: de la claridad y de la aceptación. Los grandes equipos adoptan decisiones claras y permanentes, y las concretan con la completa aceptación de todos sus miembros, incluso de quienes votaron contra esa decisión. Se marchan de las reuniones con la confianza de que ningún miembro del equipo pone en duda el apoyo que merece esa decisión.

Las dos grandes causas de la falta de compromiso son: el deseo de consenso y la necesidad de certidumbre

- Consenso.

Los grandes equipos comprenden el peligro de buscar el consenso y hallan maneras de lograr que una decisión se acepte a pesar de que sea imposible un acuerdo completo. Comprenden que los seres humanos razonables no necesitan

que triunfe su posición para apoyar una decisión, simplemente necesitan saber que sus opiniones fueron escuchadas y consideradas. Los grandes equipos se aseguran de que las opiniones de todo el mundo sean consideradas realmente, lo cual provoca la disposición a apoyar la decisión que finalmente tome el grupo. Si esto no resulta posible, el líder del equipo tiene autoridad para decidir.

- Certidumbre.

Los grandes equipos también se enorgullecen por ser capaces de unirse tras las decisiones y por comprometerse a actuar, aunque haya poca seguridad sobre si la decisión es correcta, comprendiendo que una decisión es mejor que ninguna. Además, reconocen que es mejor adoptar atrevidamente una decisión y equivocarse, y cambiar de dirección con igual atrevimiento, que no hacer nada.

Esto contrasta con la conducta de equipos disfuncionales que postergan la toma de decisiones hasta que poseen datos suficientes para sentirse completamente seguros de que adoptan la decisión correcta. Esto puede parecer muy prudente, pero es peligroso debido a la parálisis y ausencia de confianza que genera en un equipo.

Es importante recordar que el conflicto subyace en la disposición a no comprometerse si no existe una información perfecta. En muchos casos los equipos poseen toda la información que necesitan, pero ésta permanece en la mente de sus miembros y se debe extraer mediante un auténtico debate. Sólo cuando todos han expuesto sus opiniones y perspectivas en el debate, el equipo puede comprometerse confiadamente con una decisión sabiendo que se han tenido en consideración las opiniones de todos los miembros del grupo.

Independientemente de que un equipo se deba o no a la necesidad de consenso o de certidumbre, es importante comprender que una de las mayores consecuencias para un equipo ejecutivo que no se compromete con decisiones claras es la permanencia de conflictos sin resolver en el seno de la organización. Cuando un equipo ejecutivo no consigue la aceptación de todos sus miembros, aunque las disparidades que existan sean relativamente pequeñas, los empleados a las órdenes de esos ejecutivos chocarán inevitablemente, al tratar de interpretar órdenes que no coinciden claramente con las que han recibido colegas de otros departamentos. Inmediatamente, las pequeñas fisuras entre ejecutivos de alto rango se convierten en discrepancias mayores cuando llegan a los empleados de menor rango.

Para que un equipo pueda alcanzar el compromiso debe dar pasos específicos para maximizar la claridad y lograr la aceptación, y resistiendo la tentación del consenso y la certidumbre. Algunos instrumentos y principios sencillos, y a su vez efectivos son:

- Cascada de mensajes.
- Fechas límite.
- Análisis de contingencia y del peor escenario.
- Terapia de exposición a bajo riesgo.

El líder, más que cualquier otro miembro del equipo, debe sentirse cómodo ante la perspectiva de adoptar una decisión que finalmente puede resultar equivocada. Además, debe estar presionando continuamente al grupo para que concluya el examen de los asuntos y para que respete el programa que se ha establecido. Lo que nunca debe hacer el líder es valorar demasiado la certidumbre o el consenso.

En resumen, para que los miembros de un equipo se puedan exigir mutuamente conducta y actuación adecuadas, deben saber con exactitud qué esperan. De esta forma, conectamos con la disfunción 4, el incumplimiento de responsabilidades.

Disfunción 4: Incumplimiento de responsabilidades

Debido a esta falta de compromiso y aceptación, los miembros de un equipo desarrollan un “incumplimiento de responsabilidades”, la cuarta disfunción. Sin comprometerse con un claro plan de acción, hasta la gente más centrada y entusiasta suele dudar antes de llamar la atención de sus compañeros sobre acciones y conductas que parecen contraproducentes para el bien del equipo.

“Responsabilidad”, en el contexto del trabajo en equipo, se refiere específicamente a la disposición de sus miembros a pedir cuentas a sus compañeros sobre desempeños y conductas que pueden perjudicar al equipo. La esencia de esta disfunción es la falta de disposición de los miembros de un equipo para tolerar la incomodidad entre ellos que implica pedir cuentas a un compañero sobre su conducta y a evitar conversaciones molestas. Los miembros de equipos excelentes superan estas inclinaciones naturales y prefieren entrar en zonas de peligro entre ellos.

Por supuesto, esto es más fácil decirlo que hacerlo, incluso en equipos cohesionados con fuerte relación personal. De hecho, los miembros de equipos que se sienten particularmente cercanos entre ellos, a veces, dudan si tienen que pedirse cuentas precisamente porque temen perjudicar la relación personal que les une. Sin embargo, esto sólo hace que la relación se deteriore, ya que los miembros del equipo empiezan a resentirse entre ellos al no estar a la altura de las expectativas y por permitir que se desgasten los pilares que sustentan al grupo. Los miembros de equipos excelentes mejoran sus relaciones haciéndose

responsables mutuamente, demostrando así que se respetan unos a otros y teniendo altas expectativas por el desempeño de cada uno.

Aunque parezca poco ético, el medio más eficaz y eficiente de mantener altos estándares de desempeño en un equipo es la presión de los compañeros. Así, los miembros del equipo se motivan, mejorando su desempeño, si temen decepcionar al resto de compañeros del equipo. Uno de los beneficios es la reducción de la necesidad de excesiva burocracia en torno a la gestión del desempeño y la corrección de las acciones.

Para asegurar la obligación del equipo a pedir responsabilidades, se pueden aplicar unas herramientas clásicas, eficaces y simples:

- Publicación de metas y estándares.
- Revisiones sencillas y regulares del avance.
- Recompensas al equipo.

Para un líder que quiere inculcar la obligación de pedir responsabilidades en un equipo, uno de los desafíos más difíciles, es animar y permitir que el equipo sirva como primer mecanismo de exigencia de pedir cuentas. A veces algunos líderes fuertes crean naturalmente un vacío de responsabilidades en el equipo y se convierten en la única fuente de disciplina. Esto genera un ambiente en el que los miembros del equipo suponen que el líder está exigiendo responsabilidad a los demás, por eso son reticentes incluso cuando ven que algo no está bien.

Una vez que el líder ha creado una cultura de pedir responsabilidades en un equipo, debe estar dispuesto a imponer disciplina si el equipo falla, aunque esto debería ocurrir muy poco. No obstante, debería quedar claro para todos los miembros del equipo que no se ha relegado la responsabilidad a un asunto de consenso, sino que se trata de una responsabilidad compartida y que el líder no dudará si es necesario intervenir.

En resumen, si a los compañeros de equipo no se les hace responsables por su contribución, es más probable que atiendan primeramente sus propias necesidades y el progreso de ellos mismos, en perjuicio del grupo. Una ausencia de responsabilidad mutua constituye una invitación a que los miembros del equipo desplacen su atención a áreas diferentes a los resultados colectivos. Así, conectamos con la disfunción 5, la falta de atención a los resultados.

Disfunción 5: Falta de atención a los resultados

La incapacidad para hacerse responsables mutuamente crea un ambiente en que puede prosperar la quinta disfunción. La “falta de atención a los

resultados” ocurre cuando los miembros del equipo sitúan sus necesidades individuales (como el ego, el desarrollo de la carrera profesional, el reconocimiento) por encima de las metas colectivas del equipo.

La disfunción mayor de un equipo es la tendencia de sus miembros a ocuparse de algo distinto a las metas colectivas del grupo. Es importante advertir que los resultados no se limitan a medidas financieras, aunque en último término muchas organizaciones miden su éxito en esos términos, sino más bien esta disfunción se refiere a una definición mucho más amplia de resultados, que se relaciona con el desempeño basado en la contribución.

Toda organización especifica lo que espera lograr en un período determinado, y estas metas, más que las mediciones financieras que impulsan, conforman la mayoría de los resultados controlables a corto plazo. Por tanto, aunque los beneficios puedan ser la medida definitiva de los resultados de una organización, las metas y objetivos que los ejecutivos se marcan para sí mismos son el ejemplo más representativo de los resultados que persigue como equipo. En última instancia, esas metas generan ganancias.

No obstante, un equipo se puede centrar en otra cosa que no sean los resultados, como son el estatus del equipo y el estatus individual.

- Estatus del equipo.

A determinados miembros de algunos equipos les basta para estar satisfechos el ser parte del grupo. El logro de resultados específicos les puede parecer deseable, pero sin grandes sacrificios y esfuerzos. Esto puede parecer ridículo y peligroso, pero es un hecho que muchos equipos claudican a la tentación del estatus, sucediendo principalmente en organizaciones sin ánimo de lucro que terminan creyendo que la nobleza de su misión es bastante para justificar su satisfacción, ya que suelen concebir el éxito como algo meramente asociado con su singular organización.

- Estatus individual.

Tiene relación con la conocida tendencia de la gente a centrarse en potenciar su propia posición o carrera profesional a expensas de su equipo. Aunque todos los seres humanos tienen la tendencia innata a la auto conservación, un equipo funcional debe hacer de los resultados colectivos del grupo algo más importante para cada individuo que las metas individuales de cada uno.

Por más obvia que parezca a primera vista esta disfunción, y por más claro que sea que hay que evitarla, es importante advertir que hay muchos equipos que no se centran en los resultados. No viven y respiran para lograr objetivos significativos, sino más bien para existir o sobrevivir. Desgraciadamente para

estos grupos, ninguna cantidad de confianza, conflicto, compromiso o responsabilidad puede compensar la falta de deseos de triunfar.

Para asegurar que la atención de un equipo se centra en los resultados, se deben aclarar las metas y recompensar únicamente las conductas y acciones que contribuyen a esos resultados mediante:

- Declaración pública de resultados.
- Recompensas basadas en resultados.

El líder debe establecer la pauta para centrarse en los resultados. Si los miembros del equipo detectan que su líder valora algo distinto a los resultados, considerarán esto como un permiso para hacer cada uno lo mismo. Los líderes deben ser desinteresados y objetivos, y reservar las recompensas y el reconocimiento para aquellos que hacen verdaderos aportes al logro de las metas del grupo.

Otra forma de entender este modelo es considerar un enfoque positivo, imaginando cómo se conducen los miembros de un equipo verdaderamente cohesionado:

1. Confían unos en otros.
2. Participan en conflictos por ideas sin filtrarlos.
3. Se comprometen con decisiones y planes de acción.
4. Se responsabilizan mutuamente por el cumplimiento de esos planes.
5. Se centran en el logro de resultados colectivos.

Esto que parece sencillo lo es en teoría, sin embargo, en la práctica es extremadamente difícil porque requiere niveles de disciplina y perseverancia que pocos equipos pueden ejercer.

Como conclusión, podemos decir que, si se permite que aparezca una sola de las cinco disfunciones de un equipo anteriormente descritas, el trabajo en el mismo se deteriorará.

4.7. Evolución o “revolución” de la estructura organizativa

Cuando en el seno de una organización se apuesta por implantar un QRM, lo normal es comenzar a partir de un organigrama clásico (Figura 12), donde cada área está compuesta por especialistas que desarrollan una función determinada. Aunque sobre el papel este organigrama pueda parecer que es el más apropiado para la organización, seguramente la experiencia del cliente sea

bien distinta, puesto que percibe una respuesta lenta y a precio elevado, señal unívoca de recursos mal aprovechados e ineficacia.

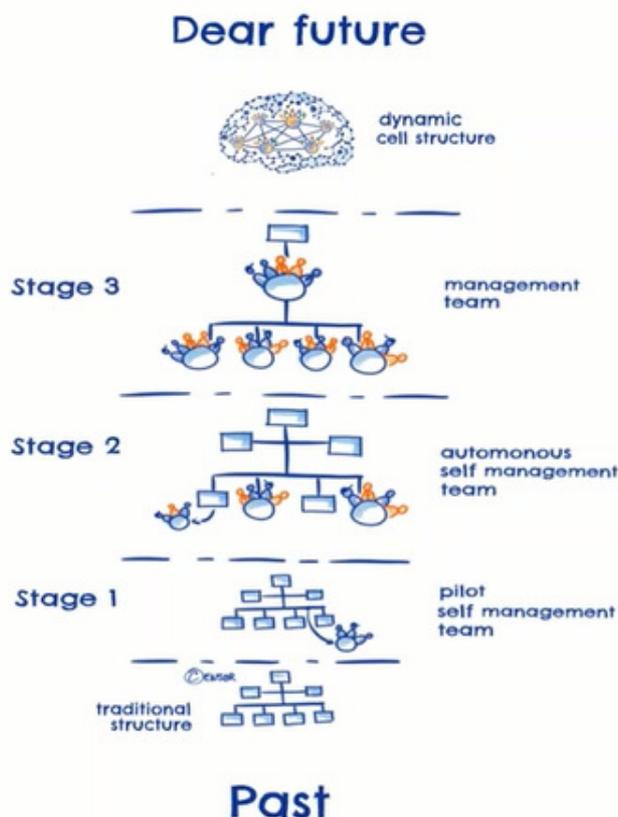


Figura 12. Evolución de la estructura organizativa con QRM
Fuente: Propia

A continuación, se intenta localizar aquellos procesos en los que hay que ser más ágiles y rápidos, o áreas donde la falta de implicación de los integrantes del equipo ha hecho estragos. Se crea esta nueva área, dotándola de autogestión, basada en la confianza mutua de los miembros que la componen y comprometida con los objetivos que se establecen. En ocasiones, se introduce dentro del área un líder o portavoz que puede rotar entre diferentes áreas, o se promociona algún miembro del equipo con aptitudes de servir y ayudar al resto del equipo. No obstante, dada la importancia de esta figura dentro de la célula QRM, se les dota previamente en liderazgo y gestión de equipos a través de formaciones específicas. De esta manera, no siempre de forma sencilla, se van iniciando otras áreas.

La Figura 12 muestra tres escenarios en el proceso de evolución de una estructura organizativa tradicional, con la creación y desarrollo de las distintas áreas. En la stage 1 se crea la primera área, en la cual es necesario dirigir su autogestión hasta que se establezca un nivel óptimo de confianza entre los miembros del equipo. Sucesivamente, en la stage 2 se van consolidando nuevas áreas autogestionadas, donde algunos de sus miembros comienzan a realizar

labores de líder. Finalmente, en la stage 3 se constituye el equipo formado por los cargos intermedios y otros mandos con identidad propia como colectivo autogestionado y con competencias para tomar decisiones.

Para la creación, y posterior desarrollo de las áreas, es importante y necesario estandarizar todos aquellos procesos que así lo requieran. Se sabe que la base de la mejora continua pasa primeramente por estandarizar, ya que de lo contrario no se conocerá sobre qué se quiere mejorar.

5. Tercer pilar del QRM: la Dinámica de Sistemas

En el capítulo 4 se mostró cómo reestructurar una organización con el fin de reducir el MCT. Esta nueva estructura basada en células QRM es fundamental para la implementación de QRM, sin embargo, por sí sola no necesariamente asegura el éxito, puesto que la simple instalación de células no garantiza unos plazos de entrega cortos o, mejor dicho, un corto MCT.

Por ello, en este capítulo, se mostrará cómo la dinámica de sistemas en general y las interacciones entre los recursos (máquinas, personas, etc.) y productos en particular, impactan en el MCT reduciéndolo considerablemente. Como resultado, se puede considerar métodos de planificación de capacidad, políticas de dimensionamiento de lotes, etc., con el fin de obtener beneficios para todo el sistema.

El uso de los principios de dinámica de sistemas para reducir el MCT es exclusivo de QRM⁹. Sin embargo, las herramientas de la dinámica de sistemas son muy potentes y cuando se aprovechan, permiten una reducción sustancial del MCT.

La dinámica de sistemas nos permitirá replantearnos y convivir con conceptos como la variabilidad y la utilización del recurso (sobre todo con la alta utilización) frente a enfoques basados en costes, que impulsa a la gran mayoría de los directivos y/o gerentes al pensamiento equivocado de maximizar la utilización de los recursos, con el fin de minimizar su cantidad.

Una situación habitual que suele aparecer en la creación de células QRM cuando se dedican recursos y éstos no se utilizan necesariamente todo el tiempo, pueden plantear un problema cuando la dirección tiene una forma tradicional de pensar basada en los costes, ya que es muy importante que los recursos, aun teniendo mayor o menor utilización, estén dedicados a la conservación de la integridad de las células.

Tampoco se trata de realizar inversiones de dudoso retorno sólo por el hecho de crear una célula, sino que se debe evaluar la viabilidad de la célula como un sistema total y propio. Si la inversión es factible, entonces se debe proceder y poner en práctica la creación de la célula, abandonando el pensamiento de utilización de los recursos desde el enfoque de la gestión tradicional. Si no es así, entonces se necesita replantear el diseño de la célula, o incluso revisar todos los FTMS y buscar una oportunidad diferente, mejorando las ideas iniciales de la célula con el fin de hacerla factible.

⁹ Otros enfoques de gestión de fabricación no explican o explotan esta poderosa metodología, sino que basan sus diseños de sistemas en suposiciones simplistas, o bien, hacen caso omiso de este tema por completo.

5.1. Introducción

La Dinámica de Sistemas se entiende, en el sentido de Jay W. Forrester (1968), como una metodología para entender el cambio, utilizando las ecuaciones en diferencias finitas o ecuaciones diferenciales. Dada la representación de estos procesos podemos estudiar la dinámica del conjunto de los estados disponibles por el sistema que es el tema central de la modelación.

Aunque dicha metodología tiene su origen en la década de los años 30 cuando se desarrolló la teoría de los servomecanismos (instrumentos en los que existe una retroalimentación desde la salida a la entrada), no fue hasta mediados de la década de los 50 cuando surgió como consecuencia del encargo de un estudio al MIT (Massachussets Institute of Technology), dirigido por Forrester, de una compañía americana¹⁰ que se encontraba preocupada por los comportamientos anti intuitivos¹¹ observados en la evolución de sus pedidos, y sus consiguientes efectos negativos sobre la marcha de la organización.

En principio el MIT optó por emplear técnicas de investigación operativa. Sin embargo, se llegó pronto a la conclusión de que el enfoque que habían adoptado como punto de partida no era el adecuado y no conducía a resultados satisfactorios. Se centró entonces la atención en la existencia de estructuras de realimentación de la información dentro del sistema. En concreto, se detectó cómo la combinación de retrasos en la transmisión de información y de las estructuras de realimentación era el origen y causa de las oscilaciones observadas en los niveles de pedidos.

Esta idea de que un bucle de realimentación con demoras en su cadena puede originar oscilaciones fue tomada como punto de partida para tratar de resolver el problema planteado. Así, a partir de ese momento se centró el interés en los elementos que intervenían en el proceso y en las interrelaciones existentes entre los mismos, con la finalidad de detectar los bucles de realimentación negativos cuya existencia justificaba los comportamientos oscilantes que se habían detectado. La adopción de este nuevo enfoque permitió una mejor comprensión del sistema objeto de análisis y del problema de partida al permitir la obtención de una visión global del mismo, facilitando el planteamiento de medidas alternativas que eliminaran las fluctuaciones y permitieran la consecución del equilibrio.

¹⁰ La Sprague Electric, se dedicaba a la fabricación de componentes electrónicos de alta precisión que ofertaba en un mercado constituido por un número reducido de fuertes clientes. Ante esta situación, la compañía estimaba que los pedidos debían mantenerse constantes a lo largo del tiempo; sin embargo, observó cómo éstos sufrían fuertes oscilaciones.

¹¹ Con ello se hace mención a la contradicción existente entre una demanda más bien constante y unos pedidos que fluctúan a lo largo del tiempo.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

Como consecuencia del éxito alcanzado en la resolución de este problema generado en el seno de la empresa industrial, Forrester sistematizó esta nueva metodología, publicando "Industrial Dynamics" (1961).

La dinámica industrial trata del sistema central subyacente en la actividad industrial y tiene como objetivo el "diseño de empresa", cuya meta es crear mejores políticas de dirección y mejores estructuras organizativas. De este modo, a partir de finales de la década de los 50, la dinámica industrial comenzó a ser aplicada sistemáticamente a la resolución de casos prácticos, pudiendo ser considerada hoy en día como una metodología convencional.

Para Forrester (1961) la dinámica industrial es una forma de orientar el estudio de los sistemas industriales, que persigue mostrar cómo las políticas, decisiones, la estructura y las demoras se interrelacionan para influir en el desarrollo y estabilidad de los mismos. La dinámica industrial agrupa cada una de las áreas funcionales: dirección, inversión, investigación, comercialización, personal, producción y contabilidad, reduciéndolas a una base común, de modo que cualquier actividad económica o empresarial se reduce a un flujo, ya sea monetario, de pedidos, de materiales, de personal o de equipamiento. Estos cinco flujos se conectan a través de una red de información; dicha red es considerada fundamental por la dinámica industrial puesto que es la que otorga al sistema sus propias características dinámicas.

Si bien en un principio, y como su nombre indica, la dinámica industrial fue únicamente aplicada al ámbito industrial, a mediados de los años 60 esta metodología comenzó a ser empleada para sistemas enmarcados en otros ámbitos, produciéndose un traspaso desde el mundo industrial al ámbito social con la aparición al final de la década de los 60 e inicios de los 70 los primeros resultados "Principles of Systems" (1968), "Urban Dynamics" (1969), "World Dynamics" (1971) para el Club de Roma, "Counterintuitive Behavior of Social Systems" (1971) y "The Life Cycle of Economic Development" (1973). Cabe mención aparte, el libro de D. L. Meadows "Dynamics of Growth in a finite World" (1972) cuyo gran mérito fue haberse publicado un año antes de la crisis de materias primas de 1973, y haber vaticinado en parte sus consecuencias.

Estas nuevas aplicaciones concretas de la dinámica industrial, que se pueden seguir a través de los títulos publicados y se extienden a múltiples ámbitos, junto a la certidumbre de que podía ser empleado en una amplia gama de sistemas sociales, pusieron de manifiesto que la denominación empleada era inadecuada. De ahí que la antes denominada dinámica industrial pasara a denominarse Dinámica de Sistemas, denominación que ha tenido una amplia difusión y que actualmente es empleada por múltiples instituciones y en muy diversos tipos de sistemas.

Su generalización al estudio de procesos socioeconómicos basada en modelos mentales no cabe duda que comporta notables dificultades, aunque es innegable que viene a cubrir una laguna existente entre los instrumentos de análisis de estos procesos que se caracterizan por su complejidad y por la existencia de múltiples relaciones de retroalimentación.

La aplicación de la Dinámica de Sistemas a la socioeconomía se basa, en que en este ámbito también se pueden definir sistemas, compuestos por unos elementos que se relacionan entre sí de forma estable, entre los cuales rigen o se cumplen unas leyes, como son las de la lógica, las de mercado, las de la demografía, etc.

La ecología también ha encontrado en la Dinámica de Sistemas una ayuda muy válida para el estudio de los complejos fenómenos que se producen en la naturaleza. Recientemente se observa una cierta publicidad de las aplicaciones de esta metodología a la ecología. Así aparecen en la prensa artículos que comentan los feed-backs entre diferentes elementos de los ecosistemas, su complejidad, la existencia de puntos palanca o “leverage points”, la existencia de puntos sin retorno, etc.

A medida que este instrumento ha ido adquiriendo experiencia y se han multiplicado sus aplicaciones, dentro de un ámbito limitado, aquellos que más lo utilizan lo han ido desarrollando en aspectos parciales, más o menos según sus gustos y necesidades.

5.2. Fundamentos de la dinámica de sistemas

La dinámica industrial fue factible gracias a cuatro fundamentos desarrollados durante los veinte años anteriores a su aparición (Forrester, 1961).

En primer lugar, la teoría sobre los sistemas de realimentación de información sirvió de apoyo para comprender la búsqueda de objetivos, el “interjuego autocorrectivo” entre las partes de un sistema. En segundo lugar, la investigación efectuada en relación con la naturaleza de la adopción de decisiones en el ámbito de las tácticas militares modernas constituyó una base para comprender el lugar que ocupa la toma de decisiones en el ámbito industrial. En tercer lugar, el diseño de modelos experimentales de sistemas altamente complejos, tanto de ingeniería como militares, demostró que también podían ser puestos en práctica para sistemas sociales. Finalmente, la aparición de los computadores digitales supuso un gran avance en la medida en que se convirtió en el instrumento idóneo para la resolución de gran cantidad de cálculos o cálculos requeridos en los modelos¹².

¹² Estos fundamentos aparecen mencionados en el prefacio de Dinámica Industrial (Forrester, 1961) y desarrollados con más profundidad en las pp.14-19 de dicha obra.

En cuanto a la teoría del control de la realimentación, el principal fundamento de la dinámica industrial es el concepto de “servomecanismo o sistema de realimentación de la información”¹³. La idea que subyace a este concepto es que las interacciones entre los componentes de un sistema pueden ser más relevantes que los componentes en sí mismos.

Así, este concepto se define como “el sistema de realimentación de información existe cuando el medio conduce a un acto decisivo cuyo resultado es una acción que influye en el medio y, por lo tanto, en las decisiones futuras”.

Debe señalarse que esta definición hace referencia, no sólo a decisiones conscientes o explícitas, sino también a decisiones inconscientes o implícitas. La utilidad que se desprende del estudio de estos sistemas de realimentación es la posibilidad de comprender de qué modo el volumen de las acciones correctivas y de las demoras en el tiempo entre acción y efecto en los componentes interconectados de un sistema pueden originar comportamiento fluctuante o inestable.

El segundo fundamento de la dinámica industrial antes mencionado es el proceso de toma de decisiones. En la década de los 50 se consiguió un mejor entendimiento de la toma de decisión íntimamente ligado a la automatización de las operaciones de táctica militar¹⁴. La experiencia resultante en el ámbito militar de este nuevo enfoque, en relación con la determinación de las bases de decisión, se puso a disposición del estudio de los sistemas gerenciales.

El tercer fundamento consiste en el acercamiento experimental al análisis del sistema. El análisis matemático no es en ocasiones lo suficientemente potente como para ofrecer soluciones analíticas de carácter general para situaciones de elevada complejidad, como las que se producen en el mercado¹⁵. El enfoque alternativo consiste en el empleo de un enfoque experimental mediante la elaboración de un modelo matemático de un sistema industrial que describa de forma detallada el sistema. A partir del mismo, se observa el comportamiento del modelo y se efectúan experimentos con el fin de dar

¹³ Su evolución se produjo durante y tras la segunda Guerra Mundial.

¹⁴ Durante el transcurso de la segunda Guerra Mundial, y debido a la rapidez con que se sucedían los acontecimientos, se comenzó a centrar más la atención en el planteamiento estratégico que en las decisiones tácticas. Con ello se pretendía anticipar cualquier tipo de eventualidad, estableciendo de antemano la política a seguir y el modo en que habían de tomarse las decisiones tácticas. Este tipo de predicciones se efectuaba automáticamente a través de máquinas y fueron investigadas, aceptadas y, finalmente, llevadas a la práctica.

¹⁵ Debe recordarse que Forrester en un primer momento únicamente tiene en cuenta el ámbito industrial, de ahí que haga mención al comercio; sin embargo, debe recordarse que dicha afirmación puede hacerse extensible a cualquier ámbito en que se detecten sistemas susceptibles de ser analizados mediante el empleo de esta óptica, p.18 de Dinámica Industrial

respuesta a preguntas específicas acerca del sistema representado. Este proceso de experimentación recibe el nombre de simulación¹⁶.

Finalmente, se señala como cuarto fundamento de la dinámica industrial la aparición de los computadores digitales. El hecho de que el coste de su utilización para el cálculo de cómputos aritméticos se redujera notablemente y de que se incrementase su velocidad de cálculo favoreció su expansión. De hecho, su uso se generalizó a partir de la segunda mitad de la década de los 50 y hoy en día es el instrumento fundamental para la elaboración de cualquier modelo sistémico.

Según Aracil (1986), se distinguen tres líneas de desarrollo científico técnico que se combinan en la dinámica de sistemas: las técnicas tradicionales de gestión de sistemas sociales, tanto privados como públicos, la teoría de los sistemas realimentados y, finalmente, la simulación por computadora.

A partir de estas tres líneas, la Figura 13 recoge la interrelación entre las mismas, mostrando un esquema de la génesis de la dinámica de sistemas:

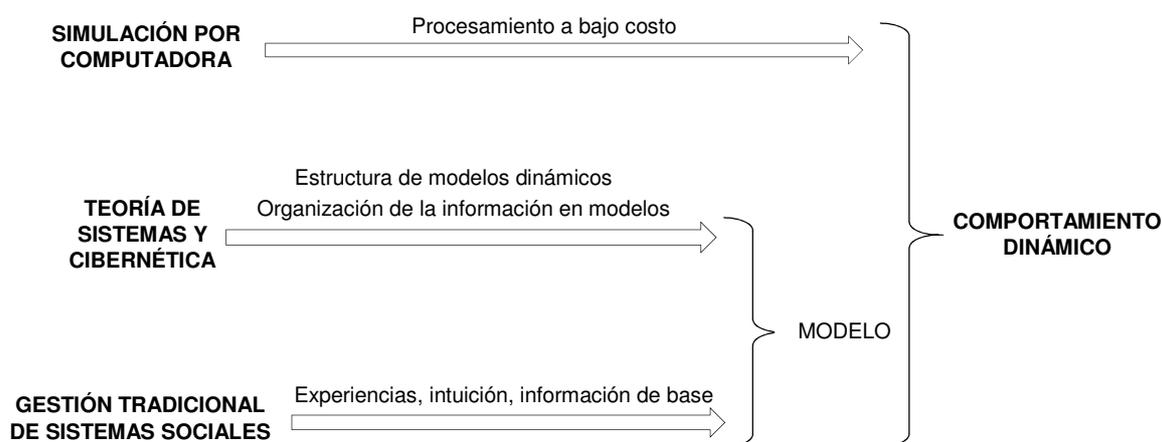


Figura 13. Génesis de la dinámica de sistemas

Fuente: Aracil (1986)¹⁷

En primer lugar, la gestión de todo sistema social implica la toma de decisiones que se pretende sean óptimas en términos de racionalidad y consistencia. Los procesos de toma de decisiones, tanto en la gestión pública como en la privada, se basan normalmente en factores tales como la intuición,

¹⁶ En el ámbito industrial, la simulación consiste en colocar en un ordenador las condiciones que describen las operaciones efectuadas por la empresa y, a partir de las mismas, probar distintas políticas gerenciales e hipótesis en cuanto al mercado para así determinar el comportamiento esperado de la empresa en dichas situaciones y, en definitiva, las posibilidades de éxito de la misma. Así, el empleo de este método de simulación no requiere elevados conocimientos matemáticos, si bien deberá ser revisado por expertos en la materia.

¹⁷ Mediante esta figura, Aracil recoge aquellas ciencias y metodologías que constituyen los antecedentes y el fundamento de la aparición de la dinámica de sistemas, p.34 (Aracil, 1986).

la experiencia pasada en situaciones parecidas o similares y en el empleo de información de base. Todos estos factores integran los denominados modelos mentales que subyacen a la toma de decisiones en cualquier ámbito.

En definitiva, estos modelos han servido tradicionalmente como base en los procesos decisorios. Los métodos tradicionales de gestión se basan en la experiencia acumulada del decisor, experiencia basada en información disponible sobre situaciones previas. De todo el conjunto de información que implica la experiencia acumulada del decisor se extraen aquellas pautas que se repiten a lo largo del tiempo, a partir de las cuales se puede generalizar y hacer predicciones. De este modo, se perfilan modelos mentales acerca de las situaciones comunes y repetitivas a que se enfrenta aquel que toma las decisiones. Como consecuencia, se puede extraer que toda metodología que se emplee para la construcción de modelos mentales debe contener la opción de incluir la experiencia acumulada como parte de dichos modelos. La dinámica de sistemas, como metodología, incluye esta recomendación puesto que todo modelo construido mediante su aplicación estará basado en la opinión de expertos involucrados en el sistema que se desee representar.

En segundo lugar, la Figura 13 hace referencia a la “teoría de sistemas” y a la “cibernética”. La dinámica de sistemas ha recogido en su metodología estudios acerca de sistemas realimentados no lineales desarrollados por la cibernética.

La palabra Cibernética derivada del griego “kybernetes” apareció por primera vez con Platón, y en el siglo XIX con André Marie Ampere para referirse a los modos de gobierno.

Desde 1943 un grupo de científicos encabezados por el matemático Nobert Wiener había reconocido la necesidad de elegir un término para designar un nuevo cuerpo de teorías e investigaciones. En 1947 decidieron adoptar la palabra “cybernetis” que fue popularizada en su libro (1948) titulado “Cybernetics, or the study of control and communication in the animal and machine” y desde entonces el término no ha dejado de mantener un interés creciente. De hecho, la cibernética se desarrolló como ciencia profundamente “transdisciplinar” que estudia el control y el autocontrol (Wiener) o la ciencia de la eficacia de la acción (Couffignal).

La cibernética introduce la idea de circularidad a través del concepto de retroalimentación, bucle o feed back, rompiendo con la ciencia newtoniana clásica en la que los efectos se encadenan de forma lineal.

La idea de circularidad desarrollada por Wiener se centra en el feed back negativo que permite la autoregulación del sistema ante posibles perturbaciones. En 1963, Maruyama estudió el feed back positivo que, a diferencia del negativo, amplifica la desviación (sistemas “amplificadores”). La utilización de este

concepto puede permitir explicar la evolución de los sistemas sociales en los cuales existen los dos tipos de retroalimentación.

También a este respecto, la teoría de sistemas realimentados proporciona una serie de estructuras básicas que subyacen a un gran número de sistemas y que permiten generar una gran variedad de comportamientos dinámicos presentes en la realidad.

Para finalizar, gracias al desarrollo de la “informática” es posible obtener en poco tiempo y con un bajo coste los cálculos implícitos a un modelo, facilitando la simulación sucesiva con el modelo de situaciones o condiciones alternativas cuyos efectos se pretenden analizar.

De acuerdo con estas tres corrientes (cibernética, teoría general de sistemas e informática), la dinámica de sistemas pretende la elaboración de modelos dinámicos en los cuales se recojan los bucles de realimentación detectados en el sistema real, y todo ello empleando como herramienta básica para la simulación el ordenador. Además, para Vennix y Gubbles (1992) es fundamental que dichos modelos reflejen la opinión de aquellos expertos que posean información y estén íntimamente vinculados al sistema objeto de análisis, es decir, la participación de personas involucradas en el sistema y que, en definitiva, son las que poseen modelos mentales del mismo, siendo un requisito fundamental para la consecución de un modelo de aceptable aplicabilidad. En conclusión, la dinámica de sistemas puede ser considerada como un lenguaje para la expresión de modelos que reflejen el comportamiento de sistemas sociales.

5.3. La variabilidad y la alta utilización

Habitualmente se asegura, con el objetivo de minimizar el coste de todos sus recursos, que cada recurso sea utilizado tanto como sea posible para evitar desperdiciarlo. Sin embargo, al aumentar la demanda del uso de los recursos, se generan incrementos considerables de los tiempos de espera, es decir, se consigue lo contrario de lo que se está tratando de lograr.

Por ello, el objetivo pasa por planificar estratégicamente para disponer de capacidad, es decir, la capacidad de la carga prevista para los recursos debe mantenerse por debajo del 85% o incluso por debajo del 75% de su capacidad.

Desde un enfoque tradicional, se puede llegar a pensar que los costes son mucho más altos que los de la competencia, que probablemente utilizan menos recursos. Sin embargo, gracias a una rama de la dinámica de sistemas llamada teoría de colas, combinado con QRM y una comprensión más profunda de los costes relacionados con MCT, se pueden tener menores costes generales, incluso cuando se planifica la ocupación al 80% de su capacidad.

Esta necesidad de capacidad sobrante se debe a la variabilidad, es decir, la demanda puede variar mucho de una semana a otra, o incluso de un día a otro, existen trabajos que se pueden ejecutar con mayor tiempo de lo esperado, pueden llegar materiales con retraso, aparecen problemas de calidad y reprocesamientos, etc.

La gran mayoría de los mandos directivos son incapaces de relacionar la fuerte interacción entre la variabilidad y la utilización, subestimando el enorme impacto resultante de ambos en el MCT. Además, no se dan cuenta de que una pequeña inversión en capacidad adicional puede lograr una gran diferencia significativa.

En QRM, existen dos conceptos muy importantes que conviene tener claros como son la utilización y el tiempo de flujo o lead time:

- La utilización es la relación entre el tiempo total que un recurso (persona o máquina) está ocupado en cualquier tarea¹⁸ y el tiempo total que está previsto que opere en la fábrica (o en esa zona). Este concepto de utilización es más amplio y visualiza mejor las ventajas y desventajas sobre la capacidad, difiriendo frente a otra definición en la que la utilización de una máquina se refiere normalmente a la proporción de tiempo que la máquina está funcionando realmente en la producción de piezas. Esta diferencia es uno de los factores críticos para la toma de decisiones.

Otra manera de entender el concepto de utilización desde un enfoque QRM, es conocer qué tiempo está disponible un recurso para iniciar un trabajo si éste aparece de forma inesperada, dotando al recurso de verdadera capacidad de disponibilidad o de reserva.

- El tiempo de flujo de un trabajo que llega a un recurso o lead time es el tiempo promedio que hay que esperar antes de que este trabajo esté listo y pueda continuar hacia el siguiente recurso que demanda, ya que es habitual que un trabajo cuando llega a un recurso está ocupado la mayor parte del tiempo y, por tanto, los trabajos que llegan a éstos suelen esperar en una cola hasta que llega su turno.

Definir este concepto es necesario, puesto que el tiempo dedicado a trabajar en algunos pedidos es sólo una pequeña fracción de su MCT, ya que la mayor parte del tiempo está invertido en la espera. Esta espera puede ocurrir por muchas razones, tales como la llegada de material que procede de un proveedor, la recepción de información de un cliente, etc. Además, una

¹⁸ incluyendo el tiempo que está parada debido a mantenimiento, en caso de máquinas; o el tiempo utilizado en las tareas de montaje, más el tiempo empleado en la recolección de piezas, manejo de materiales, configuración de la estación de trabajo, así como pausas, almuerzos, reuniones, e incluso los periodos típicos de vacaciones y días de enfermedad, en caso de personas.

cantidad significativa del tiempo total de espera en una empresa es la dilación para que los recursos estén disponibles. El tiempo de flujo nos permitirá centrarnos específicamente en este componente del MCT y, a su vez, a través de una mejor comprensión de este componente se obtendrán ideas sobre cómo reducirlo de manera significativa y, como resultante, una disminución importante del MCT.

Además, el tiempo de flujo o lead time que un trabajo está en ese recurso es la suma del tiempo de cola o espera (el tiempo de permanencia en línea, esperando a que el recurso esté disponible) más el tiempo que tarda el recurso en realizar el trabajo (incluido el tiempo de configuración o cambio). Por lo tanto, el tiempo dedicado al trabajo en algunos pedidos es sólo una pequeña fracción de su MCT, ya que la mayor parte del tiempo se dedica a la espera. De ahí la importancia de reducir éste para disminuir el MCT.

Pero no sólo el tiempo de flujo influye sobre el MCT, también lo hace la alta utilización del recurso. La conexión entre el concepto de utilización y tiempo de flujo, así como el enorme impacto que tienen en el MCT, se explican con más detalle mediante la Fórmula de Kingman en el apartado 5.4.2 de este capítulo.

5.4. Ley de Little y Fórmula de Kingman

En este apartado se expone una ley de la dinámica de sistemas y una ecuación de la teoría de colas, ambas muy importantes, que relacionan las principales variables que intervienen en la eficiencia de los sistemas de fabricación: la capacidad de producción, el lead time, el trabajo en curso, la utilización de los equipos, la variación y los tiempos de proceso.

Gracias a la “Ley de Little” y la “Fórmula de Kingman”, nos permite comprobar su efecto positivo en la mejora de la eficiencia de los sistemas de producción, así como combatir de manera efectiva el despilfarro.

5.4.1. La Ley de Little

La Ley de Little fue demostrada en 1961 por John D. C. Little, profesor del MIT Sloan School of Management, siendo una ley fundamental de los sistemas dinámicos, la cual, aplicada a un sistema de fabricación, relaciona las medias a largo plazo de la capacidad de producción (unidades/tiempo), el trabajo en curso (unidades) y el lead time (tiempo).

La Ley de Little nos dice que a largo plazo la media de trabajo pendiente por realizar o trabajo en curso (WIP) es igual a la capacidad media de producción del sistema por el lead time medio:

$$Wip = Throughput \times Lead\ time$$

Siendo:

- Wip, la cantidad de unidades dentro del sistema.
- Throughput, el número de unidades que atraviesan el sistema en la unidad de tiempo.
- Lead time, el tiempo que las unidades permanecen en el sistema.

En el ejemplo de la Figura 14 se define un sistema sobre el que se quiere aplicar la Ley de Little como los tres procesos que fabrican una familia de productos, incluyendo sus almacenes de materia prima y de producto terminado. Si la capacidad de producción fuera de 4 unidades/semana de una familia de productos y el lead time medio fuera de 7 semanas, entonces el trabajo en curso medio de materia prima en curso y producto terminado sería de 28 unidades.

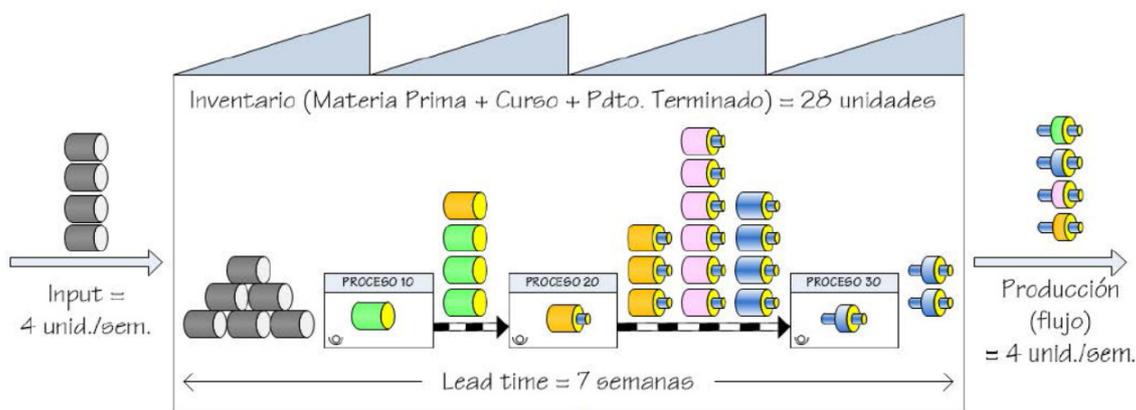


Figura 14. Aplicación de Ley de Little sobre un sistema
Fuente: Madariaga (2018)

Despejando el término capacidad media de producción (Throughput) en la Ley de Little, se obtiene:

$$Throughput = \frac{Wip}{Lead\ Time}$$

Aplicando, de igual forma la Ley de Little, se puede deducir que el lead time medio de fabricación es igual a:

$$Lead\ time = \frac{Wip}{Throughput} = \frac{28\ unidades}{4\ unidades/semana} = 7\ semanas$$

Es un concepto muy simple y fácil de entender, puesto que se trata en definitiva de saber que el tiempo (horas, días, semanas, etc.) que se tarda en fabricar un lote es igual al trabajo pendiente de realizar dividido por el trabajo que se realiza en la unidad de tiempo (horas, días, semanas, etc.); dicho de otra

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

manera, si se debe realizar un lote de 28 unidades y cada semana sólo se fabrican 4 unidades, se necesitará 7 semanas para fabricar el lote completo.

Es obvio que, si conocemos dos términos cualesquiera de la Ley de Little, podemos calcular el tercero.

Volviendo al ejemplo de la Figura 14, la Ley de Little nos dice que, sobre el papel, es factible producir 4 unidades/semana con diferentes parejas de valores de trabajo en curso (Wip) y lead time, por ejemplo, 28/7, 24/6, 20/5, 16/4, 12/3. Evidentemente, a igualdad del resto de condiciones, es más eficiente producir 4 unidades/semana con un Wip de 12 unidades y 3 semanas de lead time que con un Wip de 28 unidades y 7 semanas de lead time. Si la producción se mantiene constante, el lead time y el inventario están enlazados entre sí, ya que se trata de dos manifestaciones de un mismo fenómeno.

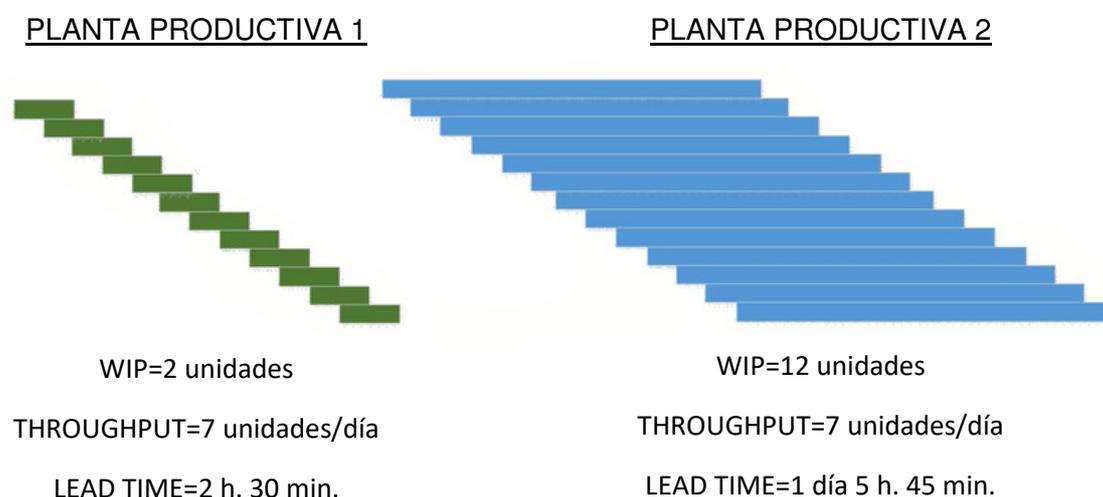


Figura 15. Efecto de la capacidad sobre el lead time
Fuente: Propia

La Figura 15 muestra dos plantas productivas con el mismo volumen de ventas e igual capacidad de producción. En esta situación soportará menos coste de gestión de estructura aquella que posea menor lead time (planta productiva 1), quedando patente, que el tamaño del lote influye sobre el tiempo de espera y, en consecuencia, sobre el MCT.

Debemos tener en consideración tres observaciones importantes para aplicar la Ley de Little:

1. El sistema puede ser una máquina, una célula, una línea, un grupo funcional homogéneo, una sección, una fábrica, un almacén, la corriente de valor de una familia de productos o una fábrica completa.
2. En el sistema no puede haber pérdidas significativas, tal como chatarra, piezas no OK, etc.

- El Wip puede expresarse en número de unidades físicas de producto, en Kg., en número de órdenes de fabricación (OF's), en €, en número de horas de mano de obra directa (MOD), etc. El Lead time se puede expresar en horas, días, semanas o en meses. Lógicamente, las unidades del Throughput tienen que ser coherentes con las unidades elegidas para el WIP y para el Lead time.

Es muy importante tener presente la Ley de Little, puesto que nos indica la manera de planificar los recursos, una máquina o un proceso. La metodología QRM trata de dilucidar perfectamente el concepto formado por la dualidad carga-capacidad, siendo éste visible a todos los niveles de la organización (operarios, mandos intermedios y directivos), los cuales deben involucrarse activamente en la preparación de alternativas para satisfacer la demanda de los clientes y poder dar siempre un servicio rápido.

Finalmente es muy importante conocer y tener en cuenta la fórmula de Kingman, como complemento a la Ley de Little.

5.4.2. La Fórmula de Kingman

La Fórmula de Kingman también es conocida como la “Ecuación VUT”, perteneciente al campo de la teoría de colas, fue publicada en 1961 por el matemático inglés John Kingman. La Fórmula de Kingman, tan importante como la Ley de Little, y sin embargo bastante menos conocida, es fundamental para comprender la relación entre el lead time, la utilización, el tiempo de proceso y la variación de un proceso industrial.

En la máquina M (Figura 16) se empujan lotes de diferentes referencias para que sean procesados, no existiendo limitación en cuanto a la cantidad de lotes en la cola de espera. Los lotes se procesan según su orden de llegada, abandonando éstos la máquina M una vez que han sido procesadas todas sus unidades.

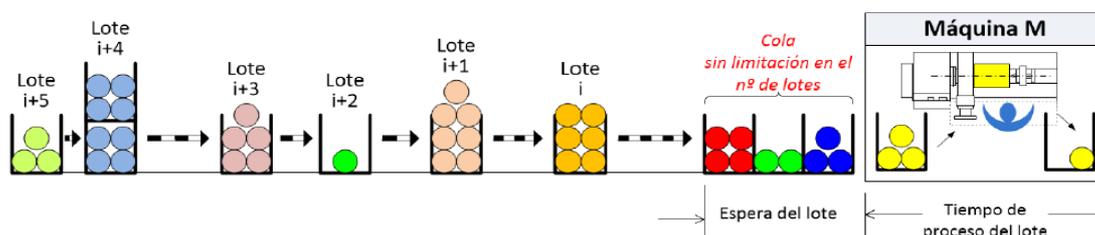


Figura 16. Cola de espera sin limitación en el número de lotes
Fuente: Madariaga (2018)

La fórmula de Kingman define el tiempo de cola o tiempo de espera “E” de un trabajo o lote que llega a una estación de trabajo o máquina M como la media de los tiempos que el trabajo o lote espera en la cola hasta que comienza a ser procesado, es decir, hasta que el centro de trabajo o máquina M ha procesado todos los otros trabajos o lotes que estaban delante de él. Así “E” es igual al

factor “V” amplificador de la variación multiplicado por el factor amplificador de la utilización de la máquina M “ $u/(1-u)$ ” multiplicado a su vez por el tiempo promedio de proceso “T” de los lotes en la máquina M.

$$E = V \cdot \frac{u}{(1-u)} \cdot T$$

Se define el tiempo promedio de proceso “T” como la media de la suma del tiempo de configuración o preparación de la estación de trabajo o máquina M más el tiempo de proceso del lote en la misma. Es importante señalar que el tiempo de proceso de un lote incluye:

- El tiempo de cambio o preparación.
- El tiempo de ciclado de todas las unidades del lote.
- El tiempo perdido por averías, reprocesos, falta de operario o cualquier otra incidencia que suceda durante el procesado del lote.

Se define el factor amplificador de la utilización de la máquina M “ $u/(1-u)$ ” como el cociente (T/T_{LL}) de la media de los tiempos de proceso de los lotes entre la media de los tiempos entre llegadas de los lotes. La utilización u no puede ser mayor que la unidad ($0 < u < 1$), es decir, cuando la utilización tiende a 1 el factor amplificador de la utilización tiende a infinito.

El valor “ $u/(1-u)$ ” muestra cómo los tiempos de cola van a aumentar de forma considerable cuando se intenta aumentar la utilización a valores cercanos a 1 o al 100%. Esto es debido a que los valores de $u/(1-u)$ son proporcionales a los tiempos de cola en cada caso, de tal manera que pequeños errores de cálculo en la capacidad de un recurso o perturbaciones, tales como entrada de trabajos urgentes o averías inesperadas, pueden provocar un enorme aumento en los tiempos de cola. Por ello, se puede afirmar que la utilización tiene un enorme impacto sobre el MCT.

Si se supone (Figura 17) que la media de los tiempos entre llegadas de los lotes $i+1$, $i+2$, $i+3$, $i+4$, $i+n$ es de 9 horas y también se supone que la media de los tiempos de proceso de los citados lotes es 7.5 horas, entonces la utilización u de la máquina M sería igual a 7.5 dividido entre 9 igual a 0.83, es decir, un 83%. La máquina M estaría sin trabajo, sin lotes esperando en la cola, un 17% de su tiempo. Esto nos daría lugar a un factor amplificador de la utilización igual a 5.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

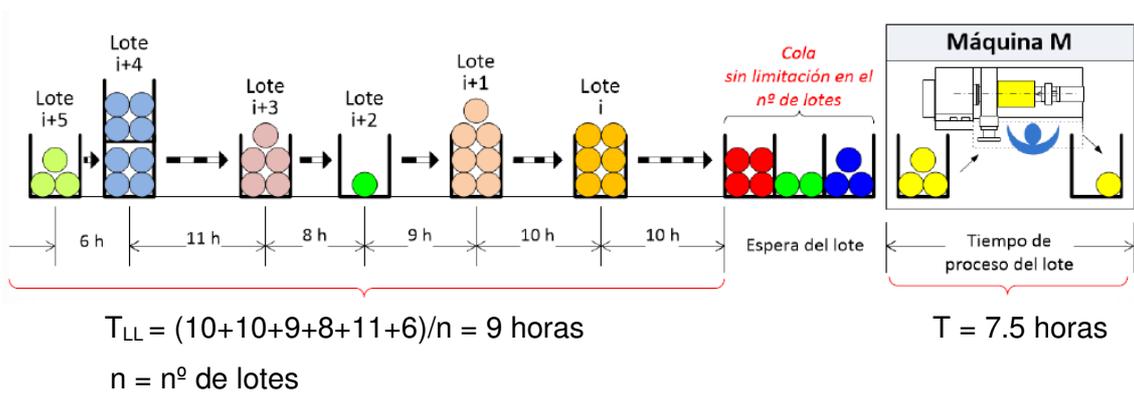


Figura 17. Factor de utilización y amplificador
Fuente: Madariaga (2018)

$$u = \frac{T}{T_{LL}} = \frac{7.5}{9} = 0.83 = 83\%$$

$$\left(\frac{u}{1-u}\right) = \left(\frac{0.83}{1-0.83}\right) = 5$$

No obstante, como se ha indicado en el apartado 5.3 de este capítulo, QRM define el concepto de utilización más ampliamente y visualiza mejor las ventajas y desventajas sobre la capacidad, difiriendo frente a la definición que propone Kingman, y que será posteriormente empleado en el Diagrama de Forrester del apartado 6.4.2. para su simulación.

Respecto a la variabilidad, en el contexto QRM, existen dos tipos de tiempo relacionados con la misma que afectan al tiempo de flujo o lead time:

- El primero es la variabilidad en los tiempos de llegada al recurso. Se denomina coeficiente de variación de los tiempos entre llegadas "CV_{LL}" como a la desviación estándar de los tiempos entre llegadas dividida entre su media (CV_{LL}=σ_{LL}/T_{LL}).
- El segundo es la variabilidad en el tiempo que toma el recurso para que procese cada trabajo, incluyendo el tiempo de instalación, más el tiempo para procesar todas los componentes o piezas del trabajo. Se denomina coeficiente de variación de los tiempos de proceso "CV_T" como a la desviación estándar de los tiempos de proceso dividida entre su media (CV_T=σ_T/T).

Se define el factor amplificador de la variación de los tiempos entre llegadas y de los tiempos de proceso "V" como la semisuma de los cuadrados de los coeficientes de variación de los tiempos entre llegadas y de los tiempos de proceso, obteniéndose así la media de los valores de variabilidad.

$$V = \frac{1}{2}(CV_{LL}^2 + CV_T^2)$$

Como ejemplo, si se supone que la media de los tiempos entre llegadas de los lotes es 9 horas y su desviación estándar 1.8 horas, entonces el coeficiente de variación de las llegadas sería 0.2 resultante de dividir 1.8 entre 9. De la misma forma, si se supone que la media de los tiempos de proceso de los lotes es 7.5 horas y su desviación estándar 12, entonces el coeficiente de variación de los tiempos de proceso sería 1.6 resultante de dividir 12 entre 7.5. Si se trasladan estos valores al factor amplificador de la variación, se tiene que V es igual a 1.3.

$$\left. \begin{aligned} T_{LL} &= 9 \text{ horas} \\ \sigma_{LL} &= 1.8 \text{ horas} \\ CV_{LL} &= \sigma_{LL}/T_{LL} = 1.8/9 = 0.2 \end{aligned} \right\}$$

$$V = \frac{1}{2}(CV_{LL}^2 + CV_T^2) = \frac{1}{2}(0.2^2 + 1.6^2) = 1.3$$

$$\left. \begin{aligned} T &= 7.5 \text{ horas} \\ \sigma_T &= 12 \\ CV_T &= \sigma_T/T = 12/7.5 = 1.6 \end{aligned} \right\}$$

Si se lleva a la fórmula de Kingman (Figura 18) los valores de los tres términos obtenidos anteriormente, se tiene que la espera media de los lotes es igual a 48.7 horas. Si a esta espera media de los lotes se le suma T, el tiempo medio de proceso de los lotes, entonces se define el “tiempo de flujo” o “lead time” para que un trabajo o lote que atraviesa este recurso o máquina M, como el tiempo promedio de la cola o espera más el tiempo promedio para completar el trabajo. En nuestro ejemplo, 48.7 horas más 7.5 horas nos daría un lead time medio de 56.2 horas. Una aclaración, el tiempo medio entre salidas de los lotes de la máquina M es igual al tiempo medio entre llegadas 9 horas, o lo que es lo mismo, una cadencia de salida o de producción de 0.11 lotes cada hora.

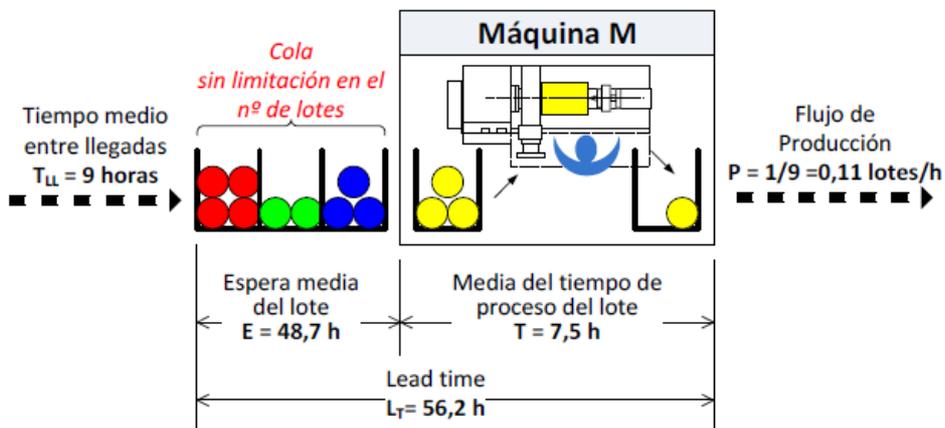


Figura 18. Lead time de la máquina M
Fuente: Madariaga (2018)

$$E = V \cdot \left(\frac{u}{1-u} \right) \cdot T = 1.3 \cdot 5 \cdot 7.5 = 48.7 \text{ horas}$$

$$\text{Lead time} = E + T = 48.7 + 7.5 = 56.2 \text{ horas}$$

La Figura 19 representa la ecuación de Kingman en un gráfico para ver los efectos sorprendentes de la variabilidad y la utilización en el lead time. En ordenadas se sitúa el lead time y en abscisas el grado de utilización entre 0 a 1 (0 a 100%). El gráfico está particularizado para un tiempo medio de proceso T y un factor amplificador V2 correspondiente a la curva de color negro (variabilidad media). Además, se añaden dos curvas más, una de color azul correspondiente a un factor V1 (baja variabilidad), y otra de color rojo correspondiente a un factor V3 (alta variabilidad), donde $V1 < V2 < V3$.

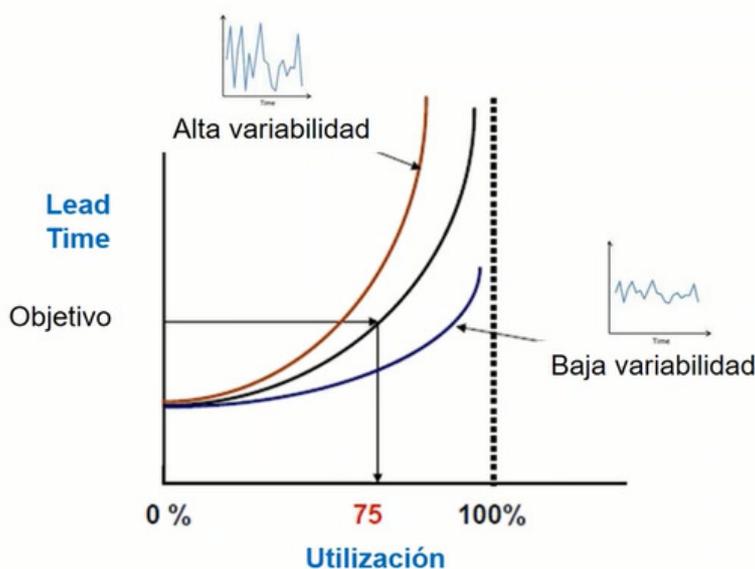


Figura 19. Efecto de la variabilidad y la utilización en el lead time
Fuente: Propia

De la gráfica se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Dado un determinado factor amplificador de la variación V, la curva que relaciona el lead time con el grado de utilización de los recursos se dispara a medida que la utilización de la máquina se aproxima a la unidad o porcentualmente al 100%; dicho de otra manera, si el grado de utilización de los recursos está al 100% (operarios y máquinas saturadas con trabajos pendientes) entonces el lead time tiende a infinito.
2. El citado aumento del lead time es tanto mayor cuanto mayor sea el valor de V.
3. Una alta utilización de máquina y lead time pequeños solo son compatibles si la variación de las llegadas y de los tiempos de proceso es reducida.

Contrariamente, al efecto amplificador de la utilización $u/(1-u)$, existe el llamado “efecto de la holgura de capacidad” (Suri, 2014). Se denomina a la capacidad disponible de un recurso “s” como un porcentaje de la capacidad total. Si expresamos la capacidad disponible de un recurso “s” en términos de utilización “u” podemos decir que $s=1-u$. Por tanto, con esta definición de “s” se puede reescribir la fórmula del efecto amplificador de la utilización como $(1-s)/s$.

Si se analiza la fórmula, se aprecia que disponer de capacidad libre o de reserva es beneficiosa en dos sentidos. Por un lado, al aparecer s en denominador, provoca que disminuya rápidamente el valor del efecto amplificador de utilización, es decir un pequeño aumento en la capacidad de reserva produce una gran disminución de los tiempos de espera. Por otro lado, $(1-s)$ en la fórmula significa que el numerador se reduce cuando la capacidad de reserva es mayor. Cuando se están llevando a los recursos a una alta utilización, es decir, cuando la capacidad disponible es muy baja, una pequeña inversión en capacidad adicional se traduce en una importante reducción en el tiempo de flujo o lead time.

Como conclusión se puede afirmar que los recursos deberán poseer más sobrecapacidad cuanto más irregular es la demanda. Por tanto, desde la perspectiva QRM, un mal planteamiento sería disponer de recursos saturados puesto que el lead time aumenta de forma desproporcionada. No obstante, cabría otro escenario peor, disponer de sobrecapacidad en base a tener que realizar menos tareas de las que nos gustaría, algo que parece incoherente con la filosofía QRM.

5.4.3. Resumen de la Fórmula de Kingman y la Ley de Little

A continuación, se resumen las principales consecuencias que se pueden deducir de la Fórmula de Kingman y la Ley de Little:

Fórmula de Kingman (Lead time= $VUT+T$)

- El lead time depende de T y del efecto amplificador combinado de V y $u/(1-u)$ sobre T.
- La variación, ya sea de los tiempos de proceso o de los tiempos entre llegadas de los lotes, amplifica el efecto negativo de una elevada utilización sobre el lead time.
- La variación de los tiempos de proceso de los lotes depende de la variación de los tiempos de configuración, de las averías, de los reprocesos, de la variación en el tamaño de los lotes, de la variación de los tiempos de ciclo, etc.

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

- Las averías aumentan “T”, aumentan la utilización “u” y aumentan la variación de los tiempos de proceso CVT.
- Una alta utilización de máquina y lead time pequeños solo son compatibles cuando la variación es reducida.
- La reducción de los tiempos de configuración disminuye “T” y, por lo tanto, disminuye la utilización “u”.
- La reducción del tamaño medio de los lotes que llegan a una máquina, si no va acompañada de una reducción de los tiempos de configuración de ésta, tiene dos efectos opuestos sobre el lead time. Por un lado, disminuye el tiempo de proceso medio “T”, lo cual reduce el lead time. Por otro lado, al aumentar el número de lotes que llegan a la máquina, aumenta el número de configuraciones y la utilización “u”, lo cual incrementa el lead time. Si partimos de una situación inicial con lotes grandes y reducimos paulatinamente el tamaño medio de los lotes que llegan a la máquina, el lead time irá disminuyendo hasta un determinado punto a partir del cual éste crecerá rápidamente.

Ley de Little (Throughput=Wip/Lead time)

- Si el flujo-cadencia de producción se mantiene constante, la ley de Little nos muestra que Wip y Lead time están vinculados entre sí.
- En términos generales, la combinación de alta variación, alta utilización de las máquinas y lotes grandes, se traduce en largos Lead time y, de acuerdo a la Ley de Little, en altos Wip, lo cual degrada la eficiencia del sistema productivo.

A lo largo del presente trabajo comprobaremos mediante la Fórmula de Kingman y la Ley de Little de qué forma la metodología y herramientas del QRM, orientadas para incrementar la eficiencia mediante la eliminación del despilfarro, mejoran el binomio Lead time-Wip del sistema de fabricación.

5.5. Estrategias para reducir el lead time

Analizando la Fórmula de Kingman se aprecia claramente que actuando sobre “V”, “ $u/(1-u)$ ” y “T”, es posible reducir el lead time y, en consecuencia, el MCT. En los siguientes apartados se citarán algunos consejos que ayudarán a ello.

5.5.1. Estrategias para reducir el factor amplificador de la variación “V”

El factor amplificador de la variación V contiene en su fórmula, elevadas al cuadrado, tanto la variabilidad en los tiempos de llegada como en los tiempos de

proceso de un trabajo. Por tanto, lograr una pequeña reducción en cualquiera de ellas provoca un efecto considerable en la reducción de MCT.

La variabilidad que en nuestro caso cabe reducir es, principalmente, la variabilidad disfuncional, es decir, la producida por errores, sistemas ineficaces y mala organización. En un primer momento, se puede pensar que la variabilidad en las llegadas y en los tiempos de trabajo parece ser variabilidad estratégica, es decir, que surge como parte de la estrategia de la empresa de ofrecer productos de gran variedad o a medida de los clientes. Sin embargo, es muy probable que la propia organización introduzca una variabilidad innecesaria, como muestran los ejemplos de los siguientes apartados, ya que en muchas ocasiones las personas implicadas generan una serie de problemas de manera involuntaria.

5.5.1.1. Estrategias para reducir la variabilidad en las llegadas

Los siguientes consejos pueden ser de utilidad para reducir la variabilidad en las llegadas de los trabajos:

- Si el departamento de marketing de la empresa está creando campañas e incentivos que aportan importantes incrementos de pedidos, tal vez estas campañas perjudican más a nuestro negocio de lo que ayudan. En esta circunstancia, quizás se pueden replantear los incentivos de modo que los clientes generen un flujo de trabajo más continuo.
- Que los vendedores no agrupen y acumulen pedidos a lo largo de la semana y que los envíen a la oficina día a día. Igualmente, que el personal de planificación o programación detenga los trabajos y los libere a planta por lotes, por ejemplo, una vez a la semana o cada quince días. Es importante que se realicen entregas diarias de los trabajos tan pronto como se procesen en la oficina.
- Que el personal encargado del manejo de materiales espere a acumular grandes cargas antes de proceder a su transporte. Es esencial educarlos sobre la importancia de mantener los trabajos en movimiento, es decir, deben tratar de mover los trabajos tan pronto como estén listos, incluso siendo cargas parciales.
- Que haya una máquina aguas arriba que funciona muy rápido y se estropee a menudo. En esta situación, cuando esté operativa producirá una gran cantidad de piezas, pero no lo hará si llega a averiarse.
- Que se produzcan piezas en un proceso aguas arriba en grandes lotes. En este caso, es posible que temporalmente no lleguen piezas y, poco tiempo después, llegue un gran lote.

Estos son sólo algunos ejemplos para generar una tormenta de ideas con los implicados, enfocándose a otras fuentes de variabilidad en las llegadas y en cómo eliminarlas, usando procedimientos novedosos o simplemente cambiando la forma de pensar.

5.5.1.2. Estrategias para reducir la variabilidad en los tiempos de proceso

Los siguientes ejemplos son sólo algunos consejos que pueden ser útiles para reducir la variabilidad en los tiempos de proceso:

- Estandarizar los procedimientos de configuración, con el fin de que los tiempos de preparación sean predecibles. Igualmente, estandarizar los métodos de trabajo, de modo que los tiempos de operación también lo sean.
- Planificar los lotes de modo que la suma de tiempos de configuración y de ejecución total se mantengan aproximadamente iguales a través de los trabajos.
- Reducir la incidencia de reprocesamiento.
- Reducir los tiempos de inactividad no planificada de los equipos mediante la inversión en mantenimiento preventivo.
- Reducir el absentismo laboral no planificado.
- Separar los trabajos con requisitos complejos de los que tienen necesidades simples, por medio de FTMS y organizando células QRM.

5.5.2. Estrategias para reducir el efecto amplificador de la utilización “ $u/(1-u)$ ”

Disminuir el efecto amplificador de la utilización requiere reducir la utilización de los recursos o, dicho de otra manera, aumentar la capacidad de reserva. A su vez, esto implica cambiar las políticas de planificación y la mentalidad de la gestión de la empresa para apoyar estas políticas, con la finalidad de que los recursos no se programen hasta más allá del 85% (Suri, 2014).

Estos cambios pueden provocar que aparezcan en algunas áreas una carga demasiado alta, es decir, cargas por encima del 85%. En estas circunstancias, cuando se detecta una de estas áreas con los recursos críticos, la dirección de la empresa debe buscar maneras de aumentar la capacidad, invirtiendo en la creación de capacidad adicional en los recursos más críticos, aunque esto no siempre significa comprar máquinas o contratar empleados.

Algunos consejos para reducir la utilización y crear capacidad disponible pueden ser:

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

- Innovar y desarrollar métodos para reducir los tiempos de preparación en dichas áreas. Esto, en la mayoría de los casos, no implica grandes inversiones, ya que a menudo con simples mejoras de procedimientos, inversiones en utillajes de bajo coste o incluso creando una buena moral y conciencia colectiva de los empleados se pueden conseguir una diferencia significativa.
- Inversión en formas de reducir los tiempos de operación, tales como pequeñas inversiones en la optimización de programas de CNC o en el uso de herramientas mejoradas pueden ser suficientes para aumentar considerablemente la capacidad de reserva.
- Reducir los reprocesamientos y/o los desechos también genera capacidad de reserva.
- Es muy probable, que muchos de los trabajos que pasan través de este recurso se estén procesando para stock. En este sentido, se debe pensar que cada vez que se procese un trabajo que entra en un almacén, se está quitando la capacidad de un cliente que la puede necesitar en ese momento. Si es así, se pueden procesar algunos trabajos una vez que el MCT se ha reducido y, si no lo es, por lo menos se puede reducir la cantidad de trabajo que se procesa para stock ya que el MCT será más corto y se necesitará un menor stock de seguridad.
- Si hay tiempos de inactividad en los recursos en esta área, será ventajoso invertir en el mantenimiento preventivo.
- Si se presenta un absentismo laboral importante en esta área, quizás pueda ser reducido.
- Si los consejos anteriores no proporcionan la suficiente capacidad de reserva, entonces quizás se debe considerar el aumento de los recursos mediante la dotación de personal y/o la incorporación de más máquinas o equipos.

Además, para reforzar el impacto de las estrategias anteriores, se debe tener en cuenta los siguientes comentarios:

- La dirección se podría resistir a las inversiones necesarias para lograr estas mejoras. Sin embargo, pequeños aumentos en la capacidad de reserva proporcionan grandes beneficios en términos de reducción del lead time. Asimismo, el lead time a través de los recursos a menudo representa una parte importante de su MCT general, por lo que reducir el lead time tiene un impacto sustancial en el MCT. A su vez, la reducción de los resultados del MCT genera numerosos beneficios económicos y organizativos, beneficios que podrían exceder ampliamente las inversiones en capacidad.

- La dirección y mandos intermedios se deben dar cuenta que el tiempo de inactividad no es realmente tiempo perdido, ya que los empleados, aun cuando no tienen tareas relacionadas con el proceso productivo a realizar, pueden participar en una serie de actividades útiles como formación transversal en polivalencia y reuniones de mejora continua, que de otra manera sería realmente imposible que pudieran realizar si siempre están ocupados con sus trabajos habituales.

Este argumento, pone de manifiesto la importancia de reducir los tiempos de configuración. Para encontrar formas de mejorar las configuraciones, los empleados deben observar y analizar las configuraciones típicas y luego llevar a cabo una puesta en común para reducir el tiempo de configuración. Todas estas actividades requieren tiempo no considerado en la programación del trabajo habitual, puesto que sin capacidad de reserva, los empleados nunca tendrán tiempo para dedicarse a estas actividades de mejora. Por el contrario, cuando se tiene capacidad ociosa, durante los períodos en que no hay procesos regulares en que trabajar, los empleados pueden dedicar tiempo a estas mejoras. De hecho, se recomienda que los equipos que forman las células QRM tengan una lista de prioridades con mejoras que se deben acometer, así cuando aparezca un período de inactividad, el equipo podría seleccionar una de estas prioridades de la lista y trabajar en ella. Desde este punto de vista, la dirección puede apreciar que el tiempo de inactividad es realmente valioso, ya que se trata de una inversión en un mejor desempeño para el futuro y no un desperdicio de recursos como podría verlo la gestión tradicional.

- Por último, para asegurar el éxito de estos esfuerzos, si la capacidad de reserva se genera utilizando una o más de estas iniciativas, la dirección debe evitar la tentación de monopolizar esta capacidad con más trabajos, o se estará de vuelta al punto de partida, con MCT extensos y todos los problemas resultantes que ello genera.

5.5.3. Estrategias para reducir el tiempo promedio de trabajo “T”

El mayor culpable aquí es el hecho de que el pensamiento tradicional basado en los costes induce a procesar lotes de gran tamaño. Solamente el hecho de disminuir el tamaño del lote a la mitad, provocaría un gran impacto en el tiempo de trabajo total. Sin embargo, los lotes más pequeños también significan más configuraciones, que disminuyen la capacidad y contrarrestan los esfuerzos para crear capacidad de reserva. Este tema es complejo y se explicará con detalle a lo largo de este capítulo. Sin embargo, muchas de los consejos expuestos anteriormente se pueden aplicar en este caso, tales como la reducción del tiempo de preparación, el tiempo de operación y los desechos y reprocesos.

5.5.4. Impacto combinado de las estrategias para reducir el lead time

El efecto combinado de todas las estrategias se muestra en la Figura 20, de la que se puede obtener las siguientes conclusiones:

- En el punto A, se tiene un recurso utilizado en un 90% con una alta variabilidad y un lead time para los trabajos a través de este recurso de nueve días. Si se reduce la utilización de este recurso (punto B), el lead tiempo decrece hasta seis días. En este punto, si se puede reducir la variabilidad utilizando los consejos expuestos el apartado 4.5.1, entonces se podría alcanzar el punto C sobre la curva inferior y reducir el lead time a tres días. Esta combinación de mejoras, ha reducido el lead time en un 67%.

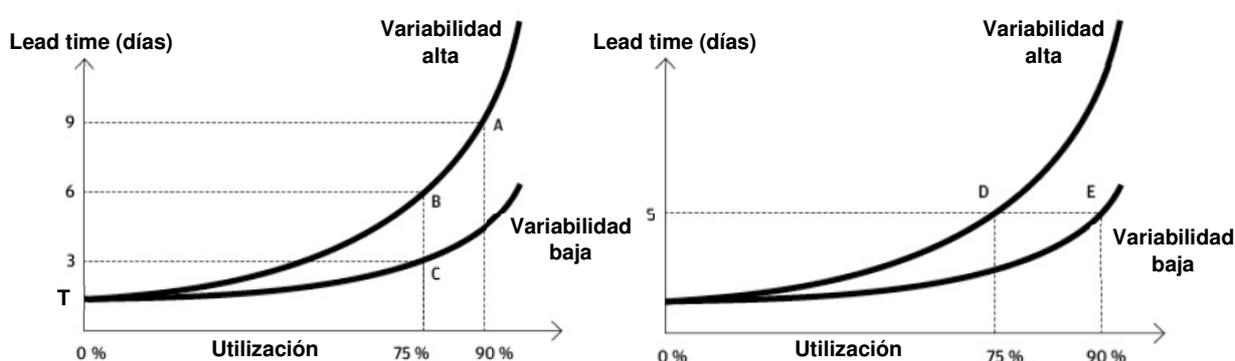


Figura 20. Impacto combinado de la utilización y variabilidad en el lead time
Fuente: Suri (2014)

- El punto T, en el eje ordenadas, es el tiempo promedio que el recurso requiere para completar un trabajo (sólo la configuración y tiempo de ejecución). Por tanto, si el recurso se encontrara inactivo la mayor parte del tiempo (utilización de casi el 0%), cualquier trabajo que llega no tendría tiempo de espera en absoluto y su lead time sería simplemente el tiempo que le llevó a trabajar en él. Esto explica el por qué comienzan las curvas en T cuando la utilización es del 0%.
- Si la empresa tiene una gran variabilidad, en la entrada de trabajos, en tiempos de proceso o en ambos, tendrá que invertir más en capacidad de reserva para mantener unos lead times cortos, que una empresa donde la variabilidad es baja. El punto E representa un recurso con baja variabilidad que tiene un lead time de cinco días. En una situación con una mayor variabilidad, ese mismo recurso podría tener que operar a una utilización del 70% para alcanzar el tiempo de flujo de cinco días (punto D). Por tanto, para saber si se necesita poca o mucha capacidad de reserva, dependerá de los parámetros de funcionamiento de la empresa.

5.6. Planteamiento QRM para el dimensionamiento del tamaño de los lotes

Un gran número de los procesos de fabricación requieren cambios y preparaciones en recursos que pueden llevar bastante tiempo de configuración. Por ello, es habitual fabricar en grandes lotes, aunque esta práctica provoque largos tiempos de espera y un comportamiento disfuncional.

Algunas métricas basadas en costes refuerzan esta práctica, por ejemplo, la métrica de la eficiencia. Esta métrica utilizada habitualmente por los mandos de dirección de las empresas, consideran el cociente del total de horas de producción entre el total de horas trabajadas. Obviamente, durante el tiempo de configuración de los recursos no se está produciendo, por lo tanto, cuanto menor sea el número de configuraciones, mayor será el uso eficiente de su capacidad y se producirá más con cada configuración.

Cuando se procesa un lote con un gran número de piezas, se producen dos efectos importantes. Por un lado, cada paso de la operación de ese lote toma tantas veces el tiempo de una sola pieza, aumentando fuertemente el tiempo necesario para que el lote fluya a través la fábrica; y por otro, también aumenta el tiempo para que otros trabajos puedan ser procesados. No obstante, el fabricar en grandes lotes presenta constantemente el dilema de tener largos tiempos de espera frente a reducidos tiempos improductivos invertidos en preparar y configurar las máquinas.

El gráfico de la Figura 21 se basa en un análisis de la dinámica de sistemas con un número fijo de recursos (máquinas y personas), donde sólo el tamaño del lote varia, y muestra el impacto real del tamaño del lote en el lead time:

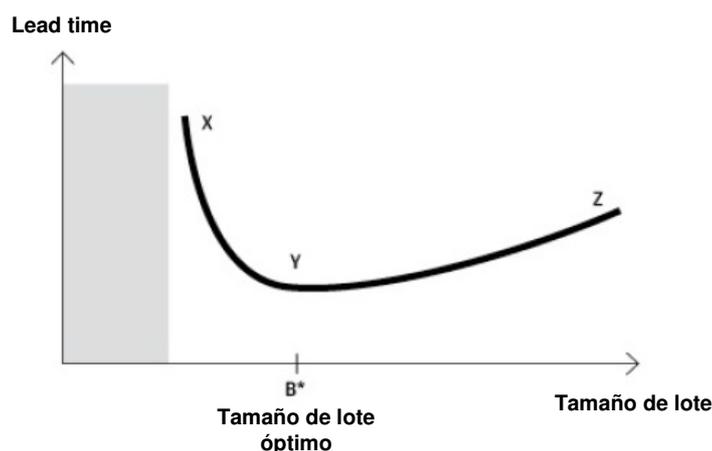


Figura 21. Comportamiento del tamaño de lote en el lead time

Fuente: Suri (2014)

- En el punto Z se están utilizando tamaños de lotes muy grandes y los tiempos de flujo son extensos por dos razones: cada lote toma mucho tiempo para

pasar a través de cada proceso y, además, también espera mucho tiempo detrás de otros lotes grandes que están ocupando los recursos que necesita.

- A medida que el punto se desplaza hacia el centro de la gráfica, los tamaños de los lotes son más pequeños y los trabajos comienzan a moverse más rápido a través de la fábrica, por lo que los lead times disminuyen (punto Y). No obstante, estos lotes más pequeños también requieren más configuraciones de las máquinas, provocando que el tiempo utilizado en las configuraciones sea mayor y se utilicen de manera más intensiva los recursos en la fábrica.
- Cuando los recursos están ocupados, los tiempos de cola en estos recursos aumentan y el lead time total empieza a aumentar. Por tanto, la gráfica aumenta a medida que se aleja el punto hacia la izquierda (punto X).
- Así, cuando el tamaño del lote es muy pequeño (zona sombreada) se está invirtiendo casi todo el lead time en configuraciones. De esta manera, se pierde la capacidad de fabricar, es decir, los trabajos tardan mucho en recorrer los distintos procesos y, en consecuencia, el lead time aumenta sustancialmente.

Como los lead times en todos los recursos contribuyen al MCT, aumentándolo o disminuyéndolo, y QRM tiene como principal objetivo la reducción de éste, entonces la solución pasa por reducir los lead times. Así, mientras que el enfoque tradicional fomenta la producción en grandes lotes, QRM propone utilizar el tamaño de lote indicado por B^* en la Figura 21, siendo éste el tamaño de lote óptimo que conduce al menor lead time.

Aunque el tamaño de lote óptimo B^* puede requerir más configuraciones que el enfoque tradicional, la empresa debe poner todo su empeño en alcanzar este tamaño de lote. Por un lado, el coste de los recursos se mantiene constante, ya que habitualmente estos recursos son fijos y, por otro, se sabe que aparece un gran número de costes asociados a MCT largos en toda la empresa; por lo tanto, estos costes son mayores para los lead times más largos, de tal manera que el menor valor de estos otros costes se puede obtener en el tamaño del lote marcado como B^* . Puesto que los costes de los recursos son fijos para todo este análisis, los costes totales del sistema también se minimizarán en este punto. Además, con los lead times más cortos también se obtiene una alta calidad y satisfacción del cliente debido a la rápida respuesta.

En definitiva, el enfoque QRM aconseja a la empresa esforzarse hacia el uso de tamaños de lote que reduzcan al mínimo los lead times.

5.7. Consecución del tamaño de lote óptimo

Habitualmente, los tamaños de los lotes que se emplean en las empresas manufactureras son siempre demasiado grandes, principalmente porque se sirven de reglas basadas en costes, no utilizando ninguna dinámica de sistemas y subestimando enormemente el impacto disfuncional de estos grandes lotes.

Este hecho permite empezar a experimentar con lotes más pequeños, sin embargo, hay que tener en cuenta dos advertencias antes de tomar esta decisión:

- En primer lugar, si alguno de los productos que pasa a través de un recurso (o recursos) es un serio cuello de botella, no reducir el tamaño de los lotes en esos recursos.
- En segundo lugar, disminuir los tamaños de los lotes en pequeños pasos, por ejemplo, planificar reducciones sólo de un 15 a un 20% de una vez.

Al hacer esto, pronto aparecerá una reducción en el lead time, pudiéndose repetir el procedimiento con otra pequeña disminución en el tamaño de los lotes, o bien, un determinado recurso empezará a convertirse en un cuello de botella. En ese caso, se deberá proceder aplicando algún consejo expuesto en el apartado 5.5.2 de este capítulo.

La ventaja de este enfoque empírico es que, procediendo con cuidado y sin demasiados análisis previos, permite rápidamente poner en práctica los cambios. Para muchas empresas, el uso de células QRM debe ser suficiente para proporcionar reducciones sustanciales en el MCT, sin tener que recurrir al uso de herramientas de software complejas.

En primer lugar, es primordial crear una estructura organizativa adecuada, utilizando el concepto de FTMS y la organización en células QRM. Es preferible evitar empezar por reducir el tamaño de los lotes dentro de la estructura organizativa existente. Por supuesto, no hay que reconfigurar toda la planta antes de reducir el tamaño del lote, se puede comenzar con una o más FTMS y las correspondientes células QRM, para a continuación, empezar a reducir los tamaños de los lotes de los productos asociados. Además, con las células en funcionamiento es mucho más fácil para los integrantes que forman los equipos de las células ser conscientes de sus cuellos de botella y, por lo tanto, aplicar apropiadamente las reglas empíricas.

A medida que el tamaño de los lotes se reduce, si en las células comienzan a aparecer cuellos de botella, entonces será necesario mitigar estos cuellos de botella utilizando algún consejo especificado en el apartado 5.5.2 de este capítulo. Uno de estos consejos implica la reducción de las configuraciones, así

que es útil dedicar un poco de tiempo a este consejo en particular. A pesar de que la reducción de la configuración no es nada nuevo, la dinámica de sistemas permite a la empresa obtener nuevos conocimientos sobre el valor de la reducción de las configuraciones y suministrará nuevas perspectivas para perseguirla con más eficacia.

Otras alternativas que requieren un enfoque matemático complejo que puede llevar más tiempo y el uso de herramientas software de modelación dinámica y análisis de suposición del tipo “what-if”, también se puede determinar el tamaño de lote óptimo.

Es posible que una mala elección de los tamaños de lote, puedan afectar al rendimiento de un recurso en particular. Para ello, tanto los tiempos de preparación como los tiempos de ejecución por producto o pieza deben ser aproximadamente los mismos y razonablemente similares en todos ellos que atraviesan dicho recurso, respectivamente. En ese caso, se pueden utilizar los promedios de estos tiempos de preparación y tiempos de ejecución para obtener el tamaño de lote; tamaño de lote que por otro lado será óptimo, puesto que se obtendrá el lead time más corto a través de ese recurso.

Para obtener el tamaño de lote óptimo, se definen las siguientes variables:

- S: Tiempo medio de preparación de un trabajo (en horas).
- H: Tiempo total programado en el recurso para el período de tiempo seleccionado (en horas).
- Q: Número total de piezas (de todos los productos o piezas) realizadas por el recurso durante el mismo período de tiempo.
- R: Total de todos los tiempos de ejecución en el recurso durante el período (en horas).
- Z=Total de todos los “otros tiempos” en el recurso durante el período (en horas).

El concepto de “otros tiempos” se debe al tiempo en que el recurso no está en configuración ni está ejecutando un producto o pieza, pero todavía no está disponible para ejecutar otro trabajo por alguna razón, por ejemplo, que la máquina esté en mantenimiento o averiada.

A partir de estos valores, se calcula:

- La utilización de ejecución del recurso “ U_R ”, siendo la proporción de tiempo que el recurso estuvo realmente trabajando en un producto.

$$U_R = \frac{R}{H}$$

- La utilización debido a otros tiempos “U_Z”, siendo la proporción de tiempo que el recurso ha invertido en estos “otros tiempos”.

$$U_Z = \frac{Z}{H}$$

Con todos estos valores, el tamaño de lote recomendado para este recurso se puede calcular mediante la fórmula:

$$B^* = \frac{S \times Q \times (U_R + \sqrt{U_R \times (1 - U_Z)})}{H \times U_R \times (1 - U_Z - U_R)}$$

Esta fórmula, se basa en el análisis de la dinámica del sistema del dimensionamiento de lotes y de la existencia del equilibrio entre tamaños grandes de lote que causan largos tiempos de trabajo y tamaños pequeños de lote que crean muchas configuraciones. Así, B* representa el tamaño del lote para el cual se obtiene el lead time más corto a través del recurso.

Como ejemplo supongamos que disponemos de un torno CNC en una celda QRM, que ejecuta trabajos de 50 piezas a la vez y se piensa que este tamaño de lote es demasiado grande y está causando un largo lead time. Si se observan los datos del torno CNC, muestra que la mayoría de los trabajos tienen tiempos de ejecución similares para cada pieza y que los tiempos de preparación son los mismos en todos los trabajos. Por tanto, se aplica la fórmula para obtener el lote óptimo para un período de un mes.

- S (Tiempo medio de preparación de un trabajo) = 1 hora
- H (Tiempo total programado en el recurso para el período de tiempo seleccionado) = 200 horas
- Q (Número total de piezas realizadas por el recurso durante el mismo período de tiempo) = 520 piezas
- R (Total de todos los tiempos de ejecución en el recurso durante el período) = 130 horas
- Z (Total de todos los “otros tiempos” en el recurso durante el período) = 10 horas
- U_R (Utilización de ejecución del recurso) = 130/200 = 0.65

- U_z (Utilización debido a otros tiempos) = $10/200 = 0.05$
- B^* (Tamaño lote óptimo) = 19.1

Si se redondea el tamaño del lote óptimo al siguiente número entero, 20 unidades, se observa que es menos de la mitad del tamaño de lote actual. Aunque este sea un análisis aproximado, la diferencia es suficientemente significativa para plantear un cambio en la política operativa actual y comenzar a trabajar con lotes más pequeños. Si en principio no se quiere hacer algo tan drástico como reducir todos los lotes a la mitad, tal vez podrían reducirse un 25% y observar los efectos que se acumulan durante el mes siguiente, e ir disminuyendo progresivamente el tamaño de los lotes hasta conseguir reducir el lead time al valor que predice la fórmula.

5.8. Impacto combinado de la reducción de configuración y los tamaños de lote sobre el lead time

En la Figura 22 se utiliza la dinámica de sistemas para demostrar el impacto de la reducción de configuración en el lead time de un recurso. La línea superior de esta figura, denominada “Antes”, es una porción de la curva en forma de U que vimos en la Figura 21 y muestra el impacto del tamaño del lote sobre el lead time de un recurso. En el eje horizontal, el punto BB (tamaño de lote “Antes”) representa el tamaño del lote en uso en una célula antes de que se realicen las mejoras de configuración. En este momento el lead time a través del recurso tiene el valor FTB (Lead time “Antes”). Ahora por la reducción sucesiva del tamaño del lote, el equipo de la célula puede tratar de encontrar el punto BB* que reduce el lead time a través de este recurso a FTB*, que es el valor más bajo que se puede alcanzar, ya que es el punto más bajo de la curva en forma de U.

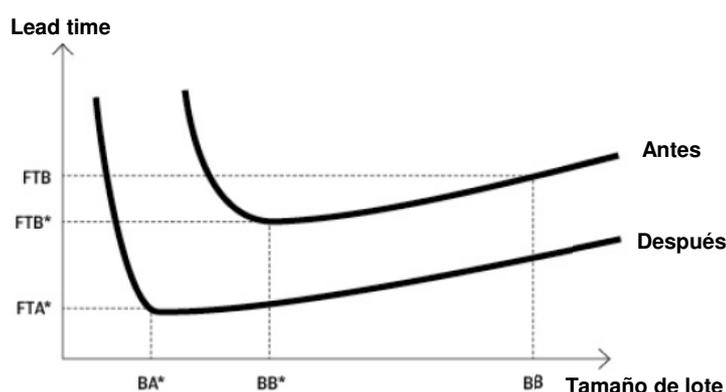


Figura 22. Comportamiento de la reducción de configuración en el tamaño de lote y lead time
Fuente: Suri (2014)

Si el equipo puede reducir el tiempo de configuración de este recurso un 50%, entonces la curva se mueve hacia abajo y hacia la izquierda, como se muestra en la curva “Después” de la Figura 22. Este cambio se puede explicar

fácilmente, ya que para cualquier tamaño de lote que se está utilizando, reducir el tiempo de configuración frecuentemente provoca una reducción del lead time. También se puede observar que, para cada tamaño de lote, el lead time debe ser menor, es decir, la curva normalmente debe moverse hacia abajo. A continuación, con una reducción del 50% en la configuración, debería ser posible procesar el lote de tamaños más pequeños antes de que este recurso se convierta en un grave cuello de botella. Por lo tanto, la curva debe moverse a la izquierda. Estos dos argumentos explican la posición de la nueva curva “Después”.

La nueva curva ilustra la enorme oportunidad disponible. El equipo de la célula puede reducir tamaños de lote en el trayecto hacia abajo a BA* (tamaño de lote “Después”), en cuyo punto el valor de lead time se reduce a FTA* (tiempo de flujo “Después”). Cuando se compara con el valor inicial FTB, el valor FTA* representa aproximadamente una reducción del 80% del lead time. De nuevo, la dinámica de sistemas ayuda a ilustrar el enorme impacto de la reducción de la configuración, combinada con la reducción de tamaño del lote.

El valor de esta estrategia generalmente suele ser subestimado por la dirección, puesto que usa el pensamiento tradicional. En este sentido, la dirección ve la reducción de la configuración como una forma de reducir los costes de instalación y, al mismo tiempo, la creación de más capacidad, de modo que se produzcan más piezas con esos recursos. No obstante, es posible que no se reduzcan los costes tradicionales de configuración. Por ejemplo, si se supone que se reduce el tiempo de instalación de una máquina en un 50% y, asimismo, se reducen los lotes de esa máquina en un 50%, puesto que se va a configurar dos veces con más frecuencia y que el tiempo de preparación se ha reducido a la mitad, entonces el tiempo total que se invertirá en configuraciones será el mismo que antes, por lo que los costes de instalación tradicionales seguirán siendo los mismos. Este es un ejemplo, en el que el análisis de costes tradicional no muestra ningún beneficio en esta estrategia. Sin embargo, como ilustra la Figura 22, el MCT se reducirá sustancialmente y se obtendrán numerosos beneficios de la reducción de costes en toda la empresa, mayor capacidad de respuesta y así sucesivamente.

La reducción del tiempo de configuración es una parte importante de la estrategia para la reducción del lead time. No obstante, la reducción del tiempo de configuración es sólo una de las muchas técnicas que se pueden utilizar. La cuestión es que, para permitir la reducción del tamaño de lote, se tendrá que aumentar la capacidad en algunos recursos y se deberán aplicar algunos consejos que se han expuesto en el apartado 5.5.2 de este capítulo.

6. Modelo dinámico para la obtención del lead time y el lote óptimo según la metodología QRM

6.1. Introducción

Los softwares basados en la Dinámica de Sistemas para la elaboración de modelos integran herramientas de simulación que permiten representar las interdependencias que existen entre cada uno de los elementos del sistema.

El modelo dinámico realizado permitirá obtener, de manera predictiva, el lead time de un producto o pieza a través de un recurso o máquina, así como el tamaño de lote, denominado “tamaño de lote óptimo”, que implica acortar dicho lead time haciendo mínimo el tiempo de espera en cola de los lotes.

Como se verá a lo largo del presente capítulo, el modelo constituirá una herramienta eficaz y valiosa que permitirá a gerentes, directores y/o responsables de producción de empresas manufactureras:

- Conocer las condiciones en las que trabajan los recursos.
- Decidir mediante la recreación de diferentes escenarios, la estructura que mejor se ajuste con los objetivos y estrategia de la empresa.
- A partir de los resultados obtenidos en la simulación, tomar las medidas oportunas y focalizar todos los esfuerzos en la reducción del lead time y de los tiempos de respuesta que demanda actualmente el mercado, ya que cualquier disminución del lead time implicará una reducción notable del MCT, siendo éste el objetivo principal de la metodología QRM.

Gracias a la simulación del sistema, consistente en la creación de un modelo que representa total o parcialmente y cuyo funcionamiento se adecúa al del sistema real, nos permitirá realizar diversas manipulaciones y aplicar diferentes alternativas de estudio o escenarios para un mejor análisis y comprensión del comportamiento del sistema.

El objetivo principal de la simulación, a partir del estudio del modelo, es deducir posibles comportamientos que tendría el sistema real, de una manera eficiente, rápida y a bajo coste. Entre las razones que nos lleva a realizar la simulación de un sistema, se encuentra el elevado costo de realizar pruebas en el sistema real, escalas extensas de tiempo a analizar, estudio de la viabilidad y de los efectos de diferentes alternativas a la hora de diseñar el sistema (antes de su construcción).

Para la simulación se usará el software VenSim®, el cual nos permitirá aplicar técnicas de la Dinámica de Sistemas.

6.2. Descripción del modelo a simular

El modelo construido, que será simulado posteriormente, consta principalmente de dos partes bien diferenciadas, aunque relacionadas entre sí.

En la primera parte del modelo se pretende simular el tiempo de flujo o lead time de un producto a través de un recurso o máquina, aplicando las ecuaciones que propone la metodología QRM. Para obtener el valor del lead time, se debe obtener previamente el tiempo de espera o cola y el tiempo de trabajo efectivo del recurso, ya que es suma de ambos, tal y como se muestra en el apartado 5.4.2. de este trabajo.

El tiempo de espera es proporcional a:

- El tiempo de trabajo, que incluye el tiempo de proceso de los lotes que entran al recurso, el tiempo de configuración o preparación del recurso necesario para la ejecución del trabajo, el tiempo de parada por fallo debido a roturas o averías inesperadas y el tiempo en el cual el recurso está parado por encontrarse en mantenimiento.
- El factor amplificador de la variación debido, por un lado, a la variabilidad en el tamaño de los lotes y, por otro, en la variabilidad del tiempo debido a la irregularidad con la que llegan los lotes al recurso o máquina.
- El factor amplificador de la utilización que incluye enormemente sobre el tiempo de espera cuando se lleva al recurso a mayores niveles de utilización.

Además, se introduce al modelo la variable tiempo total mantenimiento-parada, como el tiempo en el cual el recurso está en mantenimiento más el tiempo en el que está parado debido a roturas o averías inesperadas. Estas variables son necesarias para obtener el tiempo total que el sistema está ocupado en procesar todos los lotes, así como el tiempo total previsto que el recurso debe operar en ese recurso o célula.

Como se ha definido en el apartado 5.3. de este trabajo, con el tiempo total que el recurso está ocupado en el procesamiento de todos los lotes y con el tiempo total que está previsto que opere el recurso o sistema, se obtiene el valor de utilización, siendo esta variable fundamental para explicar los efectos sobre el lead time.

En la segunda parte del modelo, se simula el tamaño de lote que permite minimizar el lead time para el procesamiento de los lotes a través del recurso. Para ello, se introduce al modelo la variable lote óptimo que contiene la fórmula descrita en el apartado 5.7. Además, son necesarias otras variables como el número total de piezas o unidades que el recurso tiene que procesar, el tiempo

de configuración, el tiempo previsto para que procese todos los lotes, el porcentaje de utilización del recurso y el porcentaje de utilización debido a otros tiempos, tales como el tiempo de mantenimiento y el tiempo de parada por avería o rotura del recurso.

6.3. Objetivos de la simulación

El principal objetivo es evaluar el impacto que tienen diferentes alternativas con el fin de reducir el lead time y encontrar el lote óptimo que permita fabricar el mayor número de piezas, reduciendo el tiempo de espera o cola y, por tanto, minimice el lead time. Como ya se explicó en el capítulo 3, el principal objetivo de la estrategia QRM es reducir el MCT para alcanzar mejores tiempos de respuesta y así poder aumentar el grado de satisfacción de los clientes.

Gracias a la simulación de diversas alternativas o escenarios, se podrá simular la respuesta del modelo construido frente a diferentes tamaños de lote, gran variedad de productos que implica modificar los tiempos de configuración de la célula, variabilidad en la demanda de los clientes que implica modificar el tiempo en el que van apareciendo nuevos lotes al sistema, etc.

Para ello, se simularán 4 escenarios que nos permitirá validar el modelo confirmando el cumplimiento de los principales axiomas establecidos por la Ley de Little y Fórmula de Kingman y que rigen el funcionamiento dinámico de la metodología QRM.

6.4. Elaboración del modelo mediante Dinámica de Sistemas

El modelo de simulación será realizado aplicando el enfoque de la Dinámica de Sistemas, el cual se inicia con la representación del diagrama causal del modelo, recogiendo los elementos claves del sistema y las relaciones entre ellos. A continuación, se transformará dicho diagrama causal en el diagrama de flujos que facilitará la determinación de las ecuaciones que definen el modelo y, finalmente, se simulará con el software VenSim©.

6.4.1. Diagrama causal del modelo

El diagrama causal es la representación gráfica que recoge los elementos claves del sistema y las relaciones que existen entre ellos. En este diagrama, las diferentes relaciones se representan por flechas entre las variables afectadas por ellas. Estas flechas van acompañadas de un signo positivo “+” o negativo “-” e indica el tipo de influencia ejercida por una variable sobre la otra. Una flecha acompañada del signo positivo implica que un cambio en la variable desde donde sale la flecha genera una influencia en el mismo sentido sobre la variable a la que se dirige. Igualmente, una flecha acompañada del signo negativo implica

que un cambio en la variable origen genera una influencia en sentido contrario sobre la variable destino.

En la Figura 23 se muestra el diagrama causal donde se pueden identificar las principales variables que componen el modelo:

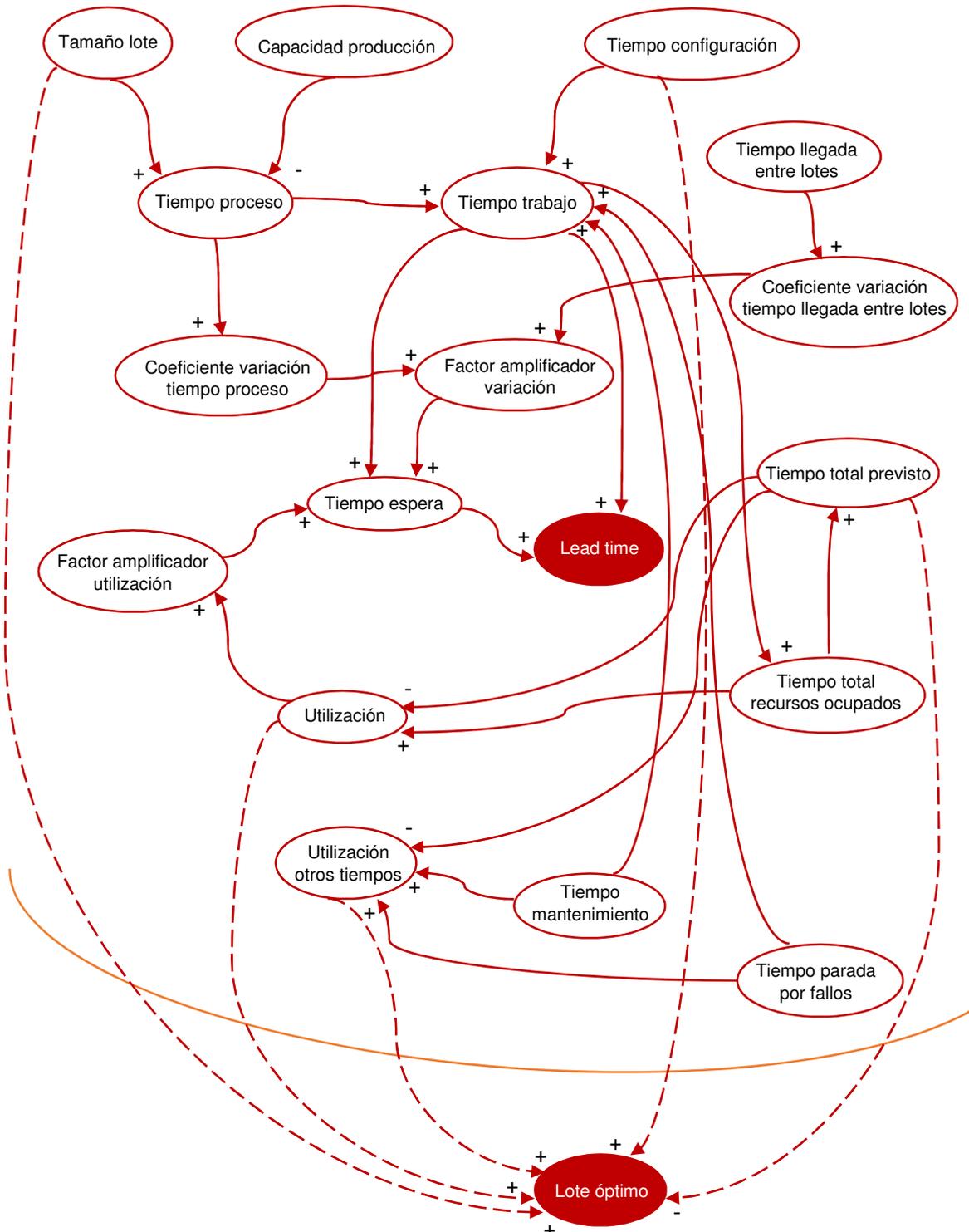


Figura 23. Diagrama causal del modelo
Fuente: Propia

En la Figura 23, se identifican signos positivos “+” y “-“, que explicarían el siguiente comportamiento:

- 1) Sobre la variable *Tiempo proceso* influye positivamente la variable *Tamaño lote* y negativamente la variable *Capacidad producción*, es decir, cuando aumente la variable *Tamaño lote* también lo hará la variable *Tiempo proceso*; sin embargo, cuando aumente la variable *Capacidad producción*, la variable *Tiempo proceso* disminuirá. Por tanto, también aumentará la variable *Coeficiente variación tiempo proceso*, puesto que está influida positivamente por la variable *Tiempo proceso*.
- 2) La variable *Tiempo llegada entre lotes* influye positivamente sobre la variable *Coeficiente variación tiempo llegada entre lotes*. Así, al aumentar la variable *Tiempo llegada entre lotes*, también aumenta la variable *Coeficiente variación tiempo llegada entre lotes*. Además, la variable *Factor amplificador variación* está afectada positivamente por las variables correspondientes a los coeficientes de variación, aumentando la variable *Factor amplificador variación* cuando lo hagan alguno de ambos coeficientes.
- 3) La variable *Tiempo trabajo* está influenciada positivamente por las variables *Tiempo proceso*, *Tiempo configuración*, *Tiempo parada por fallos* y *Tiempo mantenimiento*; por tanto, al aumentar éstas últimas también lo hará la primera, ya que está afectada por signos positivos.
- 4) Sobre la variable *Tiempo total previsto* influye de forma positiva la variable *Tiempo total recursos ocupados*. De igual modo, la variable *Tiempo total recursos ocupados*, se ve influenciada positivamente por la variable *Tiempo trabajo*. Así, siempre que se vea incrementada la variable *Tiempo trabajo*, aumentarán las variables *Tiempo total recursos ocupados* y *Tiempo total previsto*.
- 5) Sobre la variable *Utilización* influye positivamente la variable *Tiempo total recursos ocupados* y negativamente la variable *Tiempo total previsto*, es decir, cuando aumente la variable *Tiempo total recursos ocupados* también lo hará la variable *Utilización*; sin embargo, cuando aumente la variable *Tiempo total previsto*, la variable *Utilización* disminuirá. Por tanto, también aumentará la variable *Factor amplificador utilización*, puesto que está influida positivamente por la variable *Utilización*.
- 6) Sobre la variable *Utilización otros tiempos* influye positivamente las variables *Tiempo mantenimiento* y *Tiempo parada por fallos*, y negativamente la variable *Tiempo total previsto*. Así, cuando aumenten las variables *Tiempo mantenimiento* y *Tiempo parada por fallos* también lo hará la variable *Utilización otros tiempos*; sin embargo, cuando aumente la variable *Tiempo total previsto*, la variable *Utilización otros tiempos* disminuirá.

- 7) Las variables *Tiempo trabajo*, *Factor amplificador variación* y *Factor amplificador utilización* influyen positivamente sobre la variable *Tiempo espera*, aumentando ésta última cuando lo hacen las tres variables primeras. Así, por tanto, la variable *Lead time* aumentará siempre que lo hagan las variables *Tiempo espera* y *Tiempo trabajo*.
- 8) La variable *Tamaño lote*, junto a las variables *Tiempo configuración*, *Utilización* y *Utilización otros tiempos* influyen positivamente sobre la variable *Lote óptimo*. Así, cualquier incremento en alguna de estas variables supondría un aumento del tamaño de lote óptimo. Contrariamente, la variable *Tiempo total previsto* influye negativamente sobre la variable *Lote óptimo*, reduciendo el tamaño de lote óptimo.

Cabe destacar que el comportamiento del modelo sería totalmente contrario, si el valor futuro que tuviesen las variables no fueran el de aumentar, sino el de disminuir.

6.4.2. Diagrama de Forrester obtenido mediante VenSim©

A partir del diagrama causal, y utilizando el software de simulación de sistemas VenSim©, se va a construir el diagrama de flujo que servirá para la simulación. Así, las principales variables del diagrama causal se convertirán en otras, compatibles en formato y funcionalidad con VenSim©, apareciendo variables de nivel y auxiliares.

En el diagrama de flujo “Lead Time” caben destacar las siguientes variables:

- 1) *Tamaño lote (WIP)*: Números de unidades (en piezas) que componen cada lote a procesar. El número de unidades que componen cada lote oscilan entre un mínimo de 147 unidades y 700 unidades.
- 2) *Tamaño lote acumulado*: Almacena la suma de todos los lotes a medida que van apareciendo en el sistema a lo largo del periodo de simulación (en piezas).
- 3) *Tamaño lote medio*: Contiene la media correspondiente al tamaño total del lote (en piezas). Para ello, se realiza el cociente entre la variable tamaño lote acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 4) *Capacidad producción (Throughput)*: Cantidad de unidades que el sistema es capaz de procesar en la unidad de tiempo (piezas/hora). La capacidad de producción del sistema se ha fijado en 95 piezas/hora.
- 5) *Tiempo proceso*: Tiempo invertido en procesar los lotes de producto que entran al sistema (en horas). La variable tiempo de proceso calcula el tiempo que se tarda en fabricar un lote, ya que este tiempo es igual al número de

unidades o trabajo pendiente de realizar dividido por el trabajo que se realiza en la unidad de tiempo.

- 6) *Varianza tiempo proceso acumulada*: Calcula la varianza en cada instante y se acumula a lo largo del periodo de simulación. Para ello, se eleva al cuadro la diferencia entre el tiempo de proceso y el tiempo medio de proceso (en horas).
- 7) *Tiempo proceso acumulado*: Almacena la suma de todos los tiempos de proceso a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 8) *Varianza media tiempo proceso*: Calcula la varianza media del tiempo de proceso. Para ello, se realiza el cociente entre la varianza tiempo de proceso acumulada y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 9) *Tiempo medio proceso*: Contiene la media de todos los tiempos de proceso. Para ello, se realiza el cociente entre la variable tiempo proceso acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 10) *Desviación standard tiempo proceso*: Contiene la desviación standard del tiempo de proceso. Para ello, se calcula la raíz cuadrada de la varianza media del tiempo de proceso (en horas).
- 11) *Coefficiente variación tiempo proceso*: Representa la variación en el tiempo que toma el recurso para procesar los lotes. Para ello, se calcula el cociente entre la desviación estándar de los tiempos de proceso y el tiempo medio de proceso.
- 12) *Tiempo llegada entre lotes*: Corresponde al tiempo que transcurre desde que se presenta el primer lote en el sistema hasta que aparece el siguiente, y así sucesivamente, con todos los lotes que van entrando al sistema. Se ha considerado que los tiempos de llegada entre los lotes oscilan entre un valor mínimo de 13 horas y un valor máximo de 20 horas.
- 13) *Varianza tiempo llegada entre lotes acumulada*: Calcula la varianza en cada instante y se acumula a lo largo del periodo de simulación. Para ello, se eleva al cuadro la diferencia entre el tiempo de llegada entre lotes y el tiempo medio de llegada entre lotes.
- 14) *Tiempo llegada entre lotes acumulado*: Almacena la suma de todos los tiempos de llegada entre lotes a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 15) *Varianza media tiempo llegada entre lotes*: Calcula la varianza media del tiempo de llegada entre lotes. Para ello, se realiza el cociente entre la varianza tiempo de llegada entre lotes acumulada y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).

- 16) *Tiempo medio llegada entre lotes*: Contiene la media de todos los tiempos de llegada entre lotes. Para ello, se realiza el cociente entre la variable tiempo llegada entre lotes acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 17) *Desviación standard tiempo llegada entre lotes*: Contiene la desviación standard del tiempo de llegada entre lotes. Para ello, se calcula la raíz cuadrada de la varianza media del tiempo de llegada entre lotes (en horas).
- 18) *Coefficiente variación tiempo llegada entre lotes*: Representa la variación en los tiempos de llegada entre los lotes al recurso. Para ello, se calcula el cociente entre la desviación estándar de los tiempos entre llegadas y el tiempo medio de llegada entre lotes.
- 19) *Factor amplificador variación*: Calcula la semisuma de los cuadrados de los coeficientes de variación de los tiempos entre llegadas y de los tiempos de proceso, obteniéndose así la media de los valores de variabilidad.
- 20) *Tiempo configuración*: Corresponde al tiempo invertido por el equipo de la célula en configurar el recurso en cada lote durante el periodo de simulación. Se ha considerado que el tiempo de configuración por lote oscila entre un valor mínimo de 0.2 horas y un valor máximo de 4 horas.
- 21) *Tiempo configuración acumulado*: Almacena la suma de todos los tiempos de configuración a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 22) *Tiempo medio configuración*: Contiene la media de todos los tiempos de configuración. Para ello, se realiza el cociente entre la variable tiempo configuración acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 23) *Tiempo trabajo*: Corresponde a la suma de los tiempos de proceso, configuración, parada por fallos y mantenimiento (en horas). Constituye realmente el tiempo de trabajo efectivo del recurso, célula o sistema.
- 24) *Tiempo trabajo acumulado*: Almacena la suma de todos los tiempos de trabajo a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 25) *Tiempo medio trabajo*: Contiene la media de todos los tiempos de trabajo. Para ello, se realiza el cociente entre la variable tiempo trabajo acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 26) *Tiempo mantenimiento*: Corresponde al tiempo invertido por el equipo en realizar las correspondientes labores de mantenimiento del recurso en cada lote durante el periodo de simulación. Se ha considerado que el tiempo de

mantenimiento por lote oscila entre un valor mínimo de 0.1 horas y un valor máximo de 0.8 horas.

- 27) *Tiempo mantenimiento acumulado*: Almacena la suma de todos los tiempos de mantenimiento a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 28) *Tiempo parada por fallos*: Corresponde al tiempo que recurso está parado por roturas o averías en cada lote durante el periodo de simulación. Se ha considerado que el tiempo de parada por fallos en cada lote oscila entre un valor mínimo de 0 horas y un valor máximo de 0.4 horas.
- 29) *Tiempo parada por fallos acumulado*: Almacena la suma de todos los tiempos de parada por fallos a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 30) *Tiempo total mantenimiento-parada*: Corresponde a la suma del tiempo de mantenimiento y al tiempo de parada por fallos durante el periodo de simulación (en horas).
- 31) *Tiempo total mantenimiento-parada acumulado*: Almacena la suma del tiempo total de mantenimiento-parada a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 32) *Tiempo total medio mantenimiento-parada*: Contiene la media del tiempo total de mantenimiento-parada. Para ello, se realiza el cociente entre la variable tiempo total mantenimiento-parada acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 33) *Utilización otros tiempos*: Corresponde a la relación entre el tiempo total medio de mantenimiento-parada que el recurso está en mantenimiento o en parada y el tiempo total medio previsto necesario para el procesamiento de los lotes. Como en el caso de la utilización, la variable utilización otros tiempos es también inferior a la unidad.
- 34) *Tiempo total recursos ocupados*: Contiene el tiempo total que los recursos necesitan para procesar cada lote a medida que éstos aparecen en el sistema. Así, la variable tiempo total recursos ocupados corresponde con el tiempo de trabajo (en horas).
- 35) *Tiempo total recursos ocupados acumulado*: Almacena la suma del tiempo total recursos ocupados a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 36) *Tiempo total medio recursos ocupados*: Corresponde al tiempo medio total que están los recursos ocupados en procesar los lotes (en horas). Para ello, se realiza el cociente entre la variable tiempo total recursos ocupados acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).

- 37) *Tiempo total previsto*: Contiene el tiempo que se prevé necesario para el procesamiento de cada lote (en horas). Este tiempo debe ser mayor que el tiempo total recursos ocupados, ya que de lo contrario la utilización sería mayor que la unidad. Su valor se obtiene de forma automática mediante la aproximación a una curva compuesta por tramos de pendiente variable.
- 38) *Tiempo total previsto acumulado*: Almacena la suma del tiempo total previsto a lo largo del periodo de simulación (en horas).
- 39) *Tiempo total medio previsto*: Corresponde al tiempo medio total que está previsto que operen los recursos en procesar los lotes (en horas). Para ello, se realiza el cociente entre la variable tiempo total previsto acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en horas).
- 40) *Utilización*: Indica el grado de empleo o uso en el que se encuentra el recurso para procesar cada lote. La utilización se obtiene del cociente entre las variables tiempo medio total recursos ocupados y tiempo medio total previsto. Esta relación debe ser siempre inferior a la unidad.
- 41) *Holgura capacidad*: Indica la capacidad de reserva de la que dispone el recurso. Se obtiene restando a la unidad la variable utilización. Como en el caso de la utilización, esta variable es inferior a la unidad.
- 42) *Factor amplificador utilización*: Indica el orden de magnitud en el que la utilización afecta sobre el tiempo de espera o cola. Además, dicho factor es proporcional al tiempo de cola, es decir, a mayor factor amplificador de utilización, mayor tiempo de espera o cola. Se obtiene del cociente entre las variables utilización y holgura capacidad.
- 43) *Tiempo medio espera*: Indica el tiempo medio que los lotes esperan en cola antes de que empiecen a ser procesados (en horas). Se obtiene realizando el producto de las variables factor amplificador de la variación, factor amplificador de la utilización y tiempo medio de trabajo.
- 44) *Lead time medio*: Contiene el tiempo medio que tienen que esperar los lotes antes de que estén listos y puedan salir del recurso o, dicho de otra manera, el tiempo medio que tardan los lotes en atravesar el mismo (en horas). Para ello, se realiza la suma de las variables tiempo medio de espera y tiempo medio de trabajo.

El diagrama de flujo correspondiente al modelo dinámico "Lead Time" se muestra en la Figura 24:

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

En el diagrama de flujo “Lote Óptimo” caben destacar las siguientes variables:

- 1) *Tamaño lote (WIP)*, *Tiempo total previsto*, *Tiempo configuración*, *Utilización otros tiempos* y *Utilización* han sido definidas anteriormente.
- 2) *Lote óptimo*: Corresponde con el tamaño de lote que implica el mínimo lead time para cada lote de llegada (en piezas). Se obtiene al aplicar la fórmula descrita en el apartado 5.7 de este trabajo.
- 3) *Lote óptimo acumulado*: Almacena la suma de todas las unidades que componen todos los lotes óptimos a lo largo del periodo de simulación (en piezas).
- 4) *Lote óptimo medio*: Contiene el tamaño medio correspondiente a todos los lotes óptimos. Para ello, se realiza el cociente entre la variable lote óptimo acumulado y el tiempo correspondiente al periodo de simulación (en piezas).

El diagrama de flujo correspondiente al modelo dinámico “Lote Óptimo” se muestra la Figura 25:

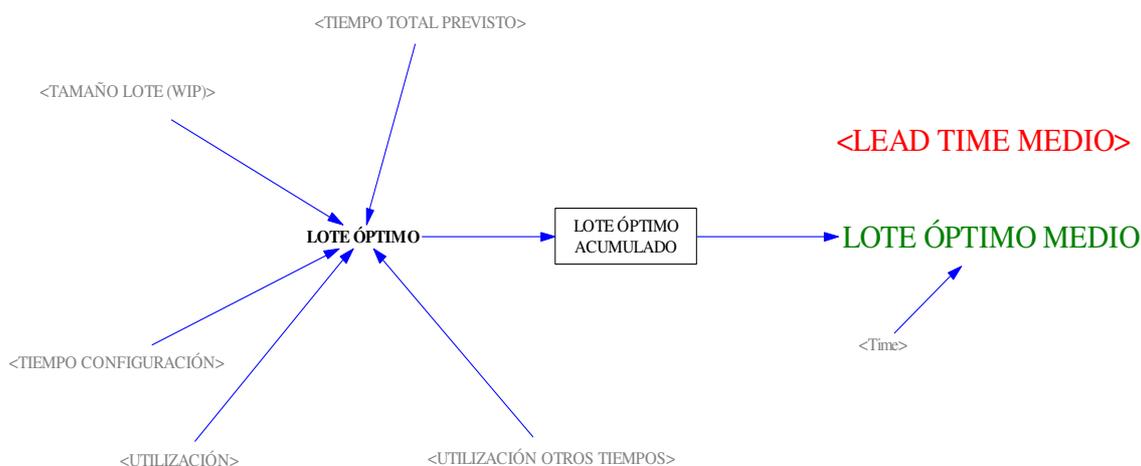


Figura 25. Diagrama de flujo modelo dinámico "Lote Óptimo"
Fuente: Propia

6.5. Validación y evaluación del modelo construido

Escenario 1

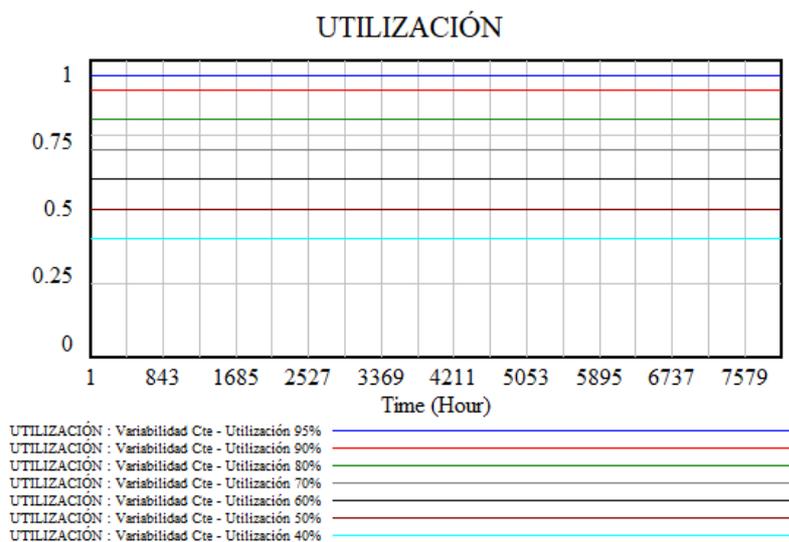
En este escenario se validará el modelo tomando como patrón la Figura 19, en la que se observa en cualquiera de sus curvas como se produce un incremento del lead time cuando el sistema es llevado a porcentajes de utilización elevados, considerando que el valor de la variabilidad es constante (no varía). Cabe recordar que, la variabilidad en el sistema aparece cuando la

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

variable tiempo de proceso es modificada por las variables tamaño de lote o capacidad de producción (throughput), o por cambios en la variable tiempo de llegada entre lotes. Así, por ejemplo, para este escenario se han tomado para la variabilidad unos valores para la variable tamaño de lote medio de 436 piezas, para la variable capacidad de producción (throughput) de 95 piezas/hora y para la variable tiempo medio de llegada entre lotes de 16.5 horas. La siguiente tabla resumen los valores anteriores:

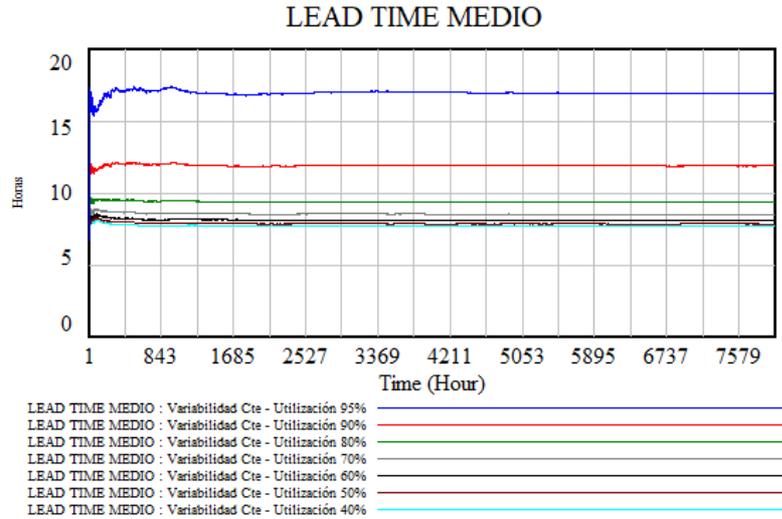
	Tamaño lote (Wip) (piezas)	Tamaño lote medio (piezas)	Tiempo llegada entre lotes (horas)	Tiempo medio llegada entre lotes (horas)	Capacidad producción (Throughput) (piezas/hora)
Variabilidad Cte	172 - 700	436	13 - 20	16.5	95

En primer lugar, se obtiene los valores de utilización (Gráfica 1) de los recursos aumentando o disminuyendo la variable tiempo total previsto, ya que la variable tiempo total recursos ocupados viene fijada por el tiempo de trabajo.



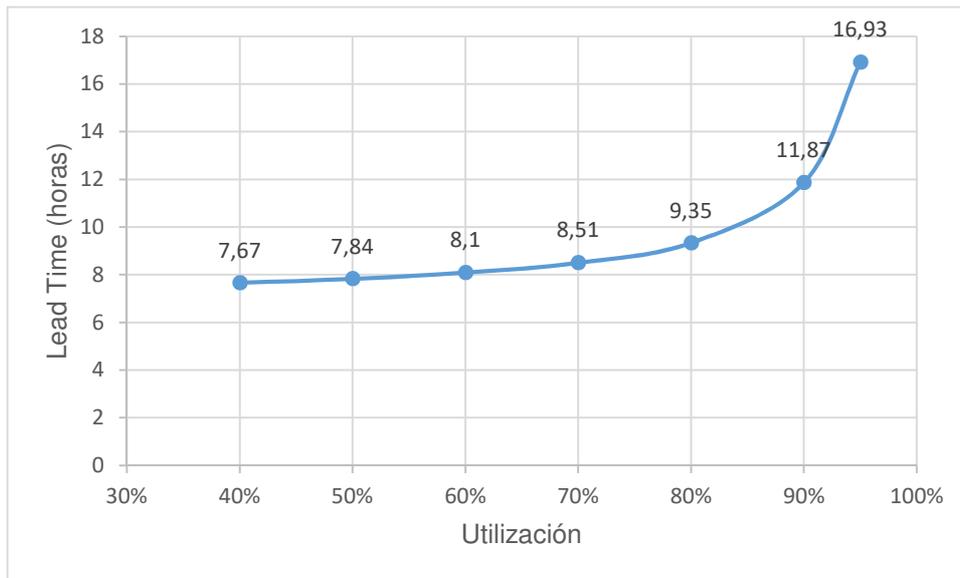
Gráfica 1. Valores de utilización a variabilidad constante
Fuente: Propia

En segundo lugar, se obtiene del modelo el lead time medio para cada valor de utilización según muestra la Gráfica 2.



Gráfica 2. Lead time a distintos valores de utilización
Fuente: Propia

Para finalizar, se exportan las parejas de valores obtenidos a la Gráfica 3.



Gráfica 3. Evolución del lead time frente al aumento de la utilización
Fuente: Propia

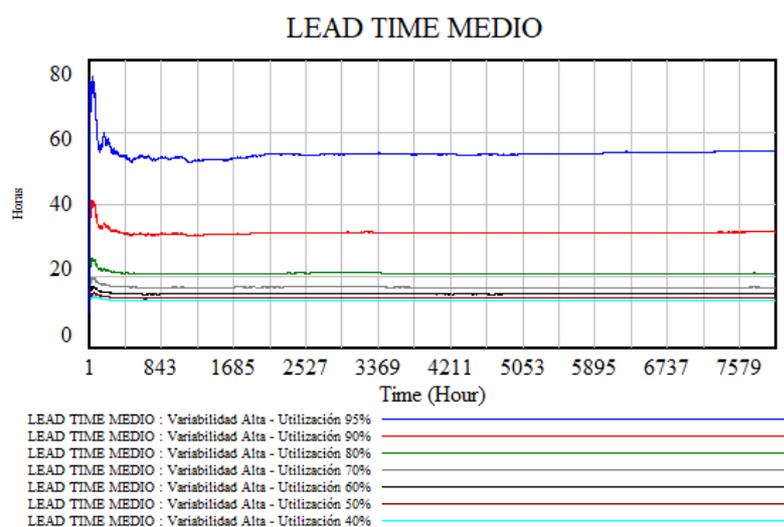
Según muestra la Gráfica 3, queda patente que la curva representa un aumento del lead time a medida que el sistema es llevado a porcentajes de utilización elevados, estallando a infinito (asíntota vertical) en valores de utilización cercanos a la unidad o al 100%. Por ejemplo, pasar de una utilización de los recursos de un 80% a un 90%, implica un incremento del lead time del 26.95%. Así, quedaría validado el modelo según la hipótesis del escenario 1.

Escenario 2

En este escenario se validará el modelo tomando como patrón la Figura 19, en la que se observa como a distintos valores de utilización de los recursos, el lead time del proceso aumentará a medida que se incrementa la variabilidad en el sistema. Como en el escenario 1, la variabilidad en el sistema aparece cuando la variable tiempo de proceso es modificada por las variables tamaño de lote o capacidad de producción (throughput), o por cambios en la variable tiempo de llegada entre lotes. Así, por ejemplo, para este escenario se han tomado a baja variabilidad los mismos valores del escenario 1, es decir, para la variable tamaño de lote medio 436 piezas, para la variable capacidad de producción (throughput) 95 piezas/hora y para la variable tiempo medio de llegada entre lotes de 16.5 horas; y a alta variabilidad, unos valores para la variable tamaño de lote medio de 436 piezas, para la variable capacidad de producción (throughput) de 50 piezas/hora y para la variable tiempo medio de llegada entre lotes de 35 horas. La siguiente tabla resumen los valores anteriores:

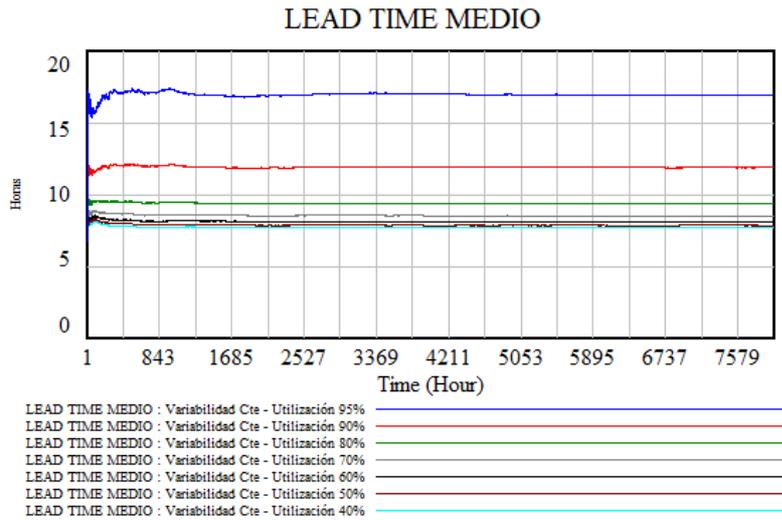
	Tamaño lote (Wip) (piezas)	Tamaño lote medio (piezas)	Tiempo llegada entre lotes (horas)	Tiempo medio llegada entre lotes (horas)	Capacidad producción (Throughput) (piezas/hora)
Baja variabilidad	172 - 700	436	13 - 20	16.5	95
Alta variabilidad	172 - 700	436	3 - 67	35	50

En primer lugar, se obtiene del modelo el lead time medio a variabilidad alta (Gráfica 4) para cada valor de utilización.



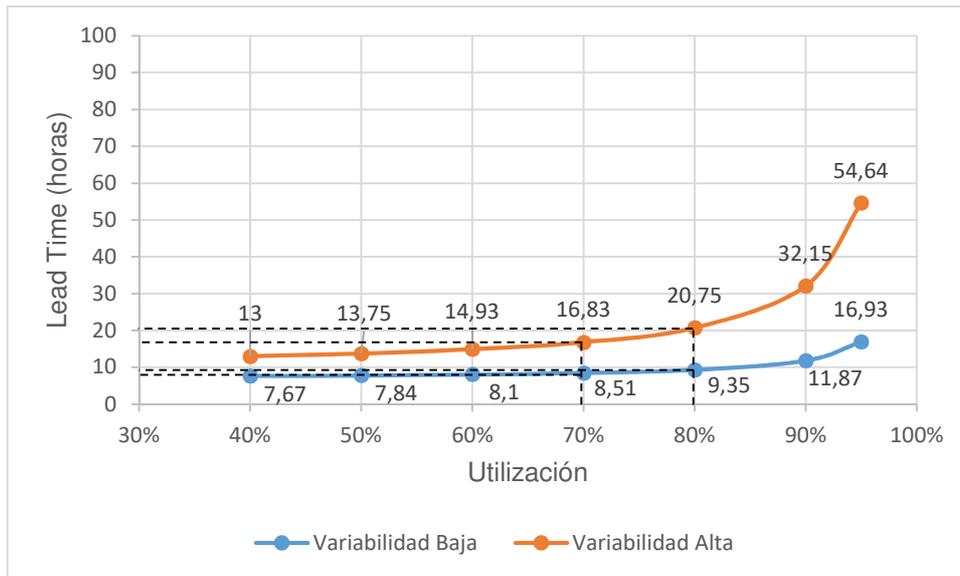
Gráfica 4. Lead time para cada valor de utilización con alta variabilidad
Fuente: Propia

En segundo lugar, se obtiene del modelo el lead time medio a variabilidad baja (Gráfica 5) para cada valor de utilización.



Gráfica 5. Lead time para cada valor de utilización con baja variabilidad
Fuente: Propia

Para finalizar, se exportan los valores obtenidos del lead time a la Gráfica 6.



Gráfica 6. Evolución del lead time frente al aumento de la utilización a baja y alta variabilidad
Fuente: Propia

Según muestra la Gráfica 6, para un valor de utilización de los recursos del 80% a variabilidad alta, el lead time para los trabajos a través del sistema es de 20.75 horas; sin embargo, a variabilidad baja, el lead time es tan sólo de 9.35 horas. Si se reduce el valor de utilización al 70%, a variabilidad baja, el lead time ahora es de 8.51 horas y decrece apenas 1.14 horas (9.8%); sin embargo, a variabilidad alta, el lead time ahora es de 16.83 horas y decrece hasta 3.92 horas (23.3%). Por tanto, si la empresa tiene una gran variabilidad, tendrá que invertir más en capacidad de reserva para mantener unos cortos lead times respecto a

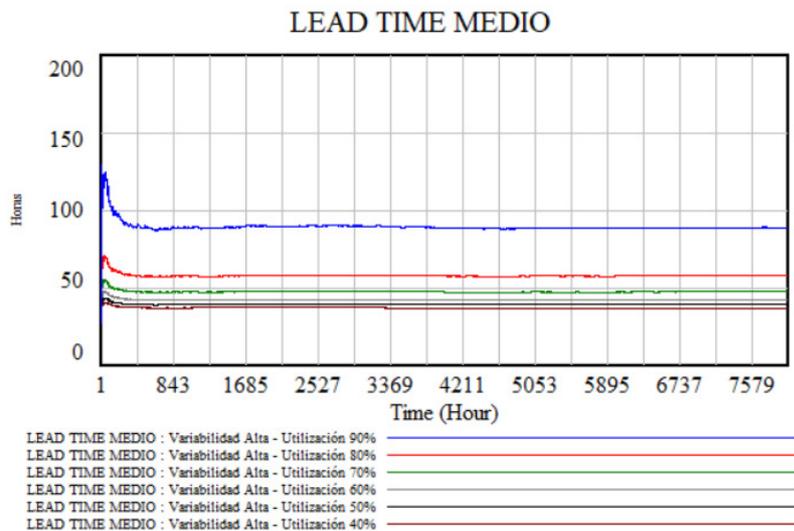
otra donde la variabilidad sea baja (demanda regular y estable). Así, quedaría validado el modelo según la hipótesis del escenario 2.

Escenario 3

En este escenario se validará el modelo tomando, de nuevo, como patrón la Figura 19, en la que se observa como para un valor de lead time determinado, la utilización de los recursos disminuye a medida que se ve incrementada la variabilidad en el sistema. Como en el escenario 2, la variabilidad en el sistema aparece cuando la variable tiempo de proceso es modificada por las variables tamaño de lote o capacidad de producción (throughput), o por cambios en la variable tiempo de llegada entre lotes. Así, por ejemplo, para este escenario se han tomado a baja variabilidad unos valores para la variable tamaño de lote medio de 600 piezas, para la variable capacidad de producción (throughput) de 25 piezas/hora y para la variable tiempo medio de llegada entre lotes de 30 horas; y a alta variabilidad unos valores para la variable tamaño de lote medio de 450 piezas, para la variable capacidad de producción (throughput) de 15 piezas/hora y para la variable tiempo medio de llegada entre lotes de 35 horas. La siguiente tabla resumen los valores anteriores:

	Tamaño lote (Wip) (piezas)	Tamaño lote medio (piezas)	Tiempo llegada entre lotes (horas)	Tiempo medio llegada entre lotes (horas)	Capacidad producción (Throughput) (piezas/hora)
Baja variabilidad	200 - 1000	600	10 - 50	30	25
Alta variabilidad	200 - 700	450	3 - 67	35	15

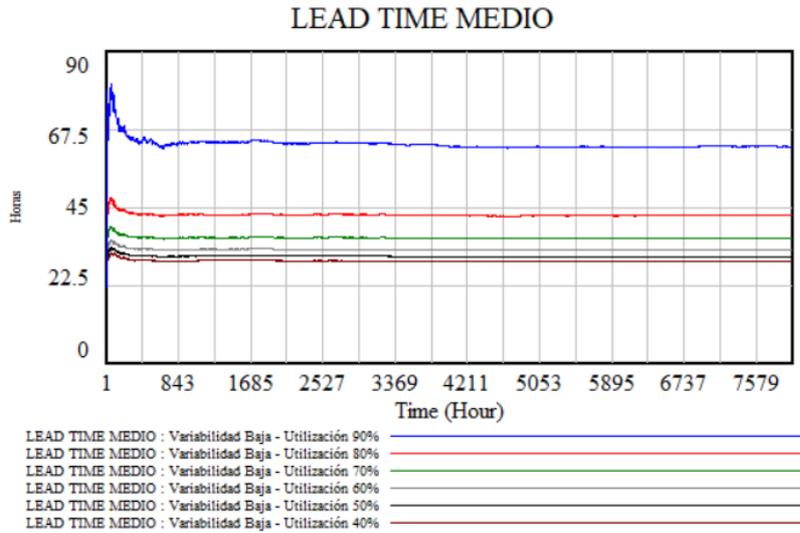
En primer lugar, se obtiene del modelo el lead time medio a variabilidad alta (Gráfica 7) para cada valor de utilización.



Gráfica 7. Lead time para cada valor de utilización con alta variabilidad
Fuente: Propia

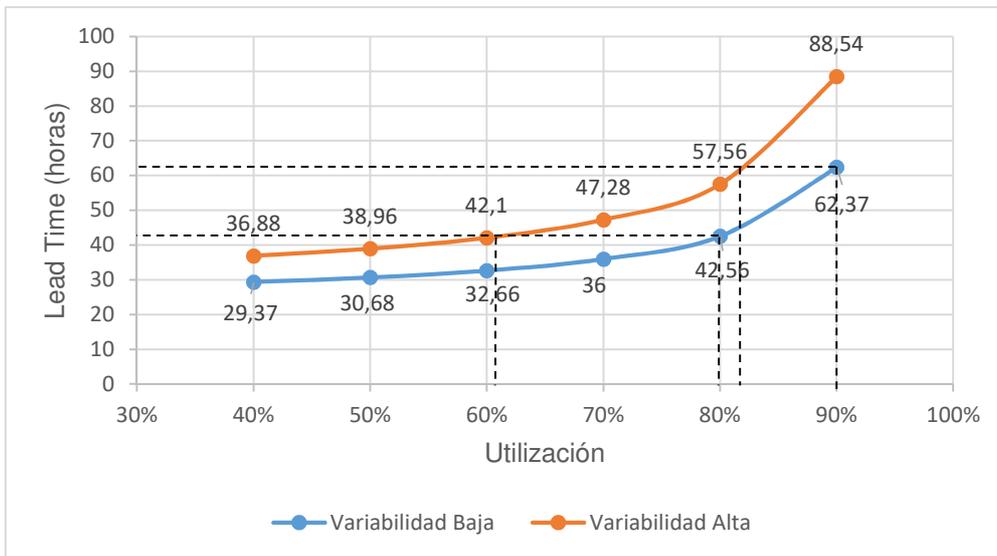
EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

En segundo lugar, se obtiene del modelo el lead time medio a variabilidad baja (Gráfica 8) para cada valor de utilización.



Gráfica 8. Lead time para cada valor de utilización con baja variabilidad
Fuente: Propia

Para finalizar, se exportan los valores obtenidos del lead time a la Gráfica 9.



Gráfica 9. Evolución de la utilización a baja y alta variabilidad
Fuente: Propia

Según muestra la Gráfica 9, para valores de utilización de los recursos del 90% y 80% a variabilidad baja, el lead time del proceso es de 62.37 horas y 42.56 horas, respectivamente. En una situación con mayor variabilidad, ese mismo recurso tendría que operar a una utilización del 82% y 61%, respectivamente para alcanzar el mismo lead time, por tanto, la empresa debería plantearse

invertir en capacidad de reserva para evitar largos lead times. Así, quedaría validado el modelo según la hipótesis del escenario 3.

Escenario 4

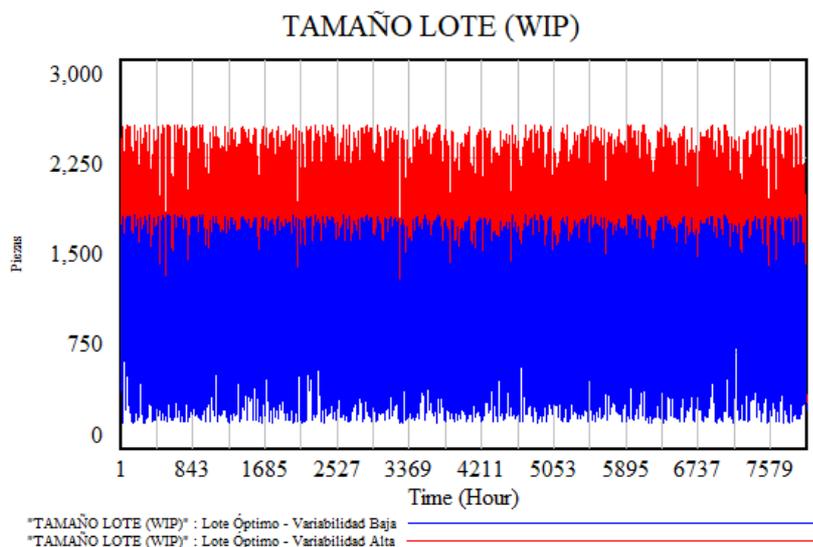
En este escenario se validará el modelo comprobando que el lote óptimo medio, que representa el tamaño del lote para el cual se obtiene el lead time más corto a través del sistema, aumenta cuando el sistema está sometido a baja variabilidad y disminuye considerablemente cuando éste posee alta variabilidad.

Para ello, se comprobarán las siguientes hipótesis:

1. A baja variabilidad y, por tanto, bajo lead time, el modelo indicará un tamaño de lote óptimo elevado y muy próximo, aunque inferior, al tamaño de lote medio que entra al sistema.
2. Por el contrario, a alta variabilidad y, por tanto, alto lead time, el modelo indica un desplome del tamaño de lote óptimo si es comparado con el tamaño de lote medio que entra al sistema.

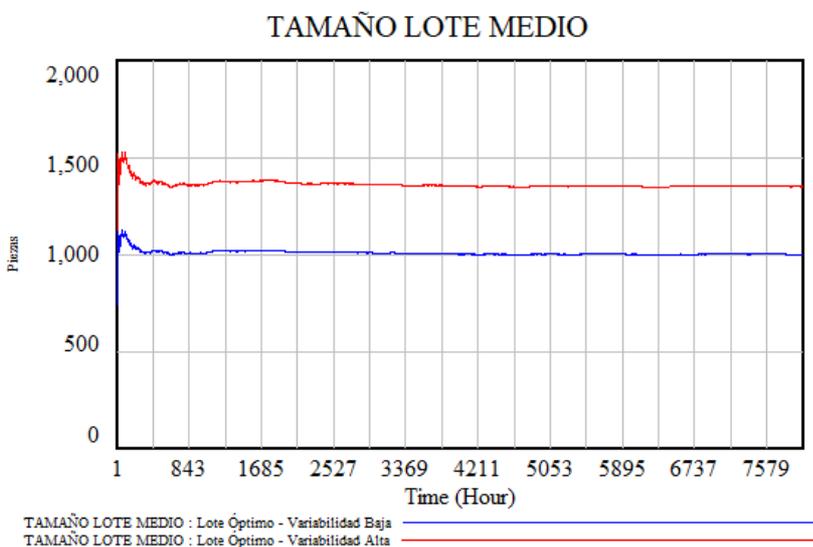
En primer lugar, la Gráfica 10 muestra en color azul el sistema sometido a baja variabilidad. Así, por ejemplo, se han tomado para las variables tamaño de lote valores comprendidos entre 200 y 1800 piezas, por tanto, el tamaño de lote medio será de 1000 piezas, para la capacidad de producción (throughput) 95 piezas/hora y para el tiempo medio de llegada entre lotes 16.5 horas; y en color rojo, cuando el sistema está sometido a alta variabilidad, se han tomado para las variables tamaño de lote valores comprendidos entre 200 y 2500 piezas, por tanto, el tamaño de lote medio será de 1350 piezas, para la capacidad de producción (throughput) 40 piezas/hora y para el tiempo medio de llegada entre lotes 35 horas. La siguiente tabla resume los valores anteriores:

	Tamaño lote (Wip) (piezas)	Tamaño lote medio (piezas)	Tiempo llegada entre lotes (horas)	Tiempo medio llegada entre lotes (horas)	Capacidad producción (Throughput) (piezas/hora)
Baja variabilidad	200 - 1800	1000	13 - 20	16.5	95
Alta variabilidad	200 - 2500	1350	3 - 67	35	40



Gráfica 10. Tamaño del lote a baja y alta variabilidad
 Fuente: Propia

En segundo lugar, la Gráfica 11 muestra en color azul el tamaño de lote medio a baja variabilidad se sitúa con un valor de 1000 piezas; igualmente, en color rojo, el tamaño de lote medio a alta variabilidad se sitúa con un valor de 1350 piezas.

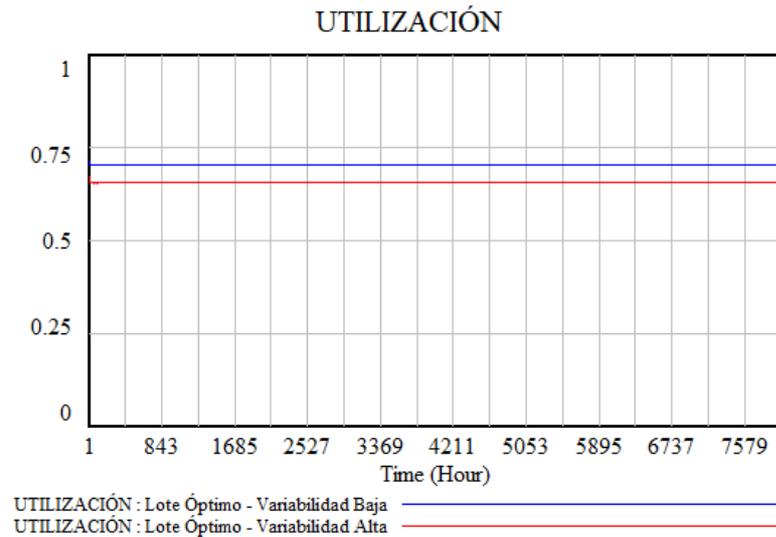


Gráfica 11. Tamaño de lote medio a baja y alta variabilidad
 Fuente: Propia

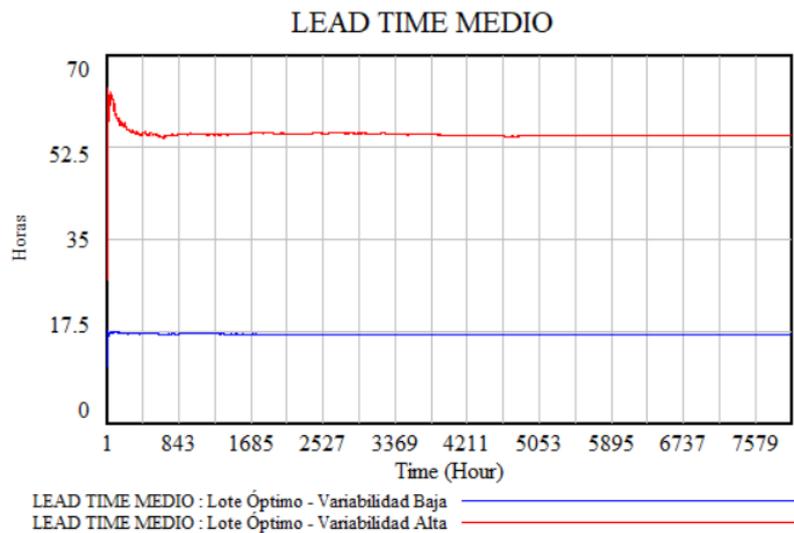
En tercer lugar, la Gráfica 12 y la Gráfica 13 representa el valor de la utilización y del lead time medio, respectivamente. en color azul, cuando el sistema está sometido a baja variabilidad y, en color rojo, cuando lo está a alta variabilidad. En color azul, cuando el sistema está sometido a baja variabilidad, los valores de la utilización y del lead time medio se sitúan en 0.702 (70.2%) y 16.86 horas, respectivamente. Igualmente, en color rojo cuando el sistema está

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

sometido a alta variabilidad, los valores de la utilización y del lead time medio se sitúan en 0.657 (65.7%) y 54.73 horas, respectivamente.

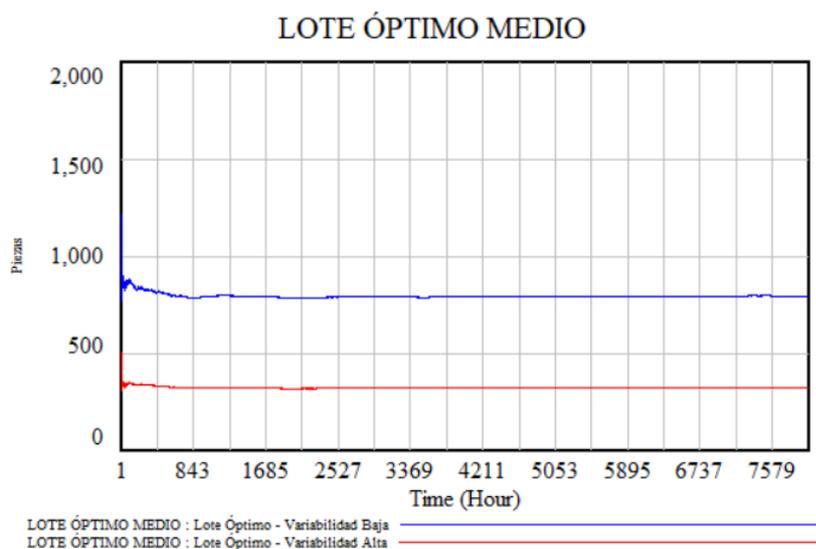


Gráfica 12. Utilización para el lote óptimo a baja y alta variabilidad
Fuente: Propia



Gráfica 13. Lead time medio para el lote óptimo a baja y alta variabilidad
Fuente: Propia

En cuarto lugar, la Gráfica 14 muestra la variable lote óptimo medio tanto a baja variabilidad (color azul) como a alta variabilidad (color rojo). Así, sometido el sistema a baja variabilidad, el lote óptimo medio se sitúa en 794 piezas; igualmente, a alta variabilidad, éste se sitúa en 323 piezas.

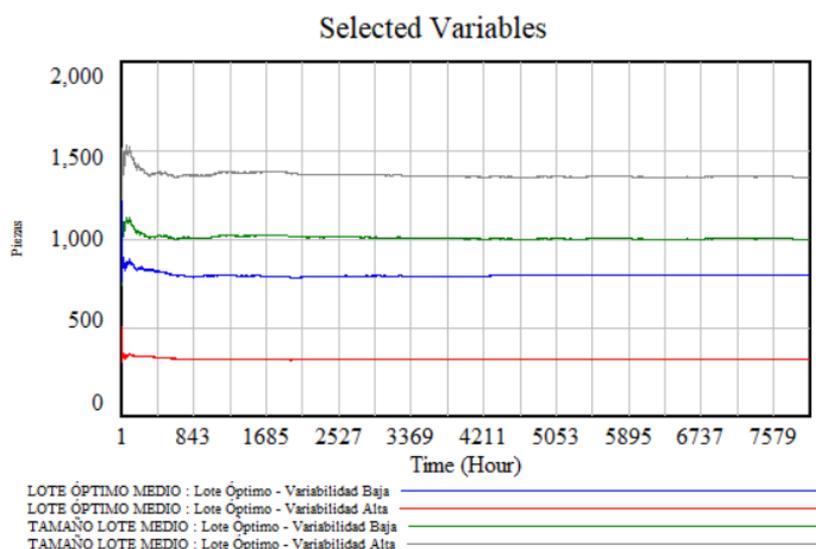


Gráfica 14. Lote óptimo medio a baja y alta variabilidad
Fuente: Propia

En resumen y con el objetivo de poder obtener las conclusiones en este escenario, se reflejan los valores mostrados en las gráficas anteriores en la siguiente tabla:

	Tamaño lote (Wip) (piezas)	Tamaño lote medio (piezas)	Utilización (%)	Lead time medio (horas)	Lote óptimo medio (horas)
Baja variabilidad	200 - 1800	1000	70.2	16.86	794
Alta variabilidad	200 - 2500	1350	65.7	54.73	323

Para finalizar, la Gráfica 15 muestra una comparativa entre las variables tamaño lote medio y lote óptimo medio. Como se observa, cuando el sistema está sometido a baja variabilidad, la variable lote óptimo medio se sitúa en 794 piezas, siendo este valor inferior a la variable tamaño lote medio que se sitúa en 1000 piezas; igualmente, cuando éste está sometido a alta variabilidad, la variable lote óptimo medio se sitúa en 323 piezas, siendo éste sustancialmente inferior frente a la variable tamaño lote medio que se sitúa en 1350 piezas.



Gráfica 15. Lote óptimo medio y tamaño lote medio a baja y alta variabilidad
Fuente: Propia

Por tanto, observando esta gráfica, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- A baja y alta variabilidad el modelo coincide al proponer el procesamiento de tamaños de lote medio más pequeños, ya que lote óptimo medio es inferior a estos.
- Para un valor de utilización de los recursos prácticamente igual, el aumento de la variabilidad en el sistema provoca fuertes disminuciones en el lote óptimo medio con el fin de mantener el lead time lo más corto posible a través del mismo. Contrariamente, cuando la variabilidad del sistema se mantiene baja, el modelo propone un lote óptimo medio más elevado.

Así, quedaría validado el modelo según la hipótesis del escenario 4.

6.6. Anexo

6.6.1. Ecuaciones modelo dinámico “Lead Time”

(01) "CAPACIDAD PRODUCCIÓN (THROUGHPUT)"=95
Units: Piezas/Hora

(02) COEFICIENTE VARIACIÓN TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES=

$$\frac{\text{DESVIACIÓN STANDARD TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES}}{\text{TIEMPO MEDIO LLEGADA ENTRE LOTES}}$$
 Units: **undefined**

(03) COEFICIENTE VARIACIÓN TIEMPO PROCESO=

DESVIACIÓN STANDARD TIEMPO PROCESO/TIEMPO MEDIO PROCESO

Units: **undefined**

(04) DESVIACIÓN STANDARD TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES=
SQRT (VARIANZA MEDIA TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES)

Units: **undefined**

(05) DESVIACIÓN STANDARD TIEMPO PROCESO=
SQRT (VARIANZA MEDIA TIEMPO PROCESO)

Units: **undefined**

(06) FACTOR AMPLICADOR VARIACIÓN=
(COEFICIENTE VARIACIÓN TIEMPO LLEGADA ENTRE
LOTES²+COEFICIENTE VARIACIÓN TIEMPO PROCESO²) / 2

Units: **undefined**

(07) FACTOR AMPLIFICADOR UTILIZACIÓN=
UTILIZACIÓN/(1-UTILIZACIÓN)

Units: **undefined**

(08) FINAL TIME = 8000

Units: Hour

The final time for the simulation.

(09) HOLGURA CAPACIDAD=1-UTILIZACIÓN

Units: **undefined**

(010) INITIAL TIME = 1

Units: Hour

The initial time for the simulation.

(011) LEAD TIME MEDIO=

TIEMPO MEDIO ESPERA+TIEMPO MEDIO TRABAJO

Units: Horas

(012) LOTE ÓPTIMO=

(TIEMPO CONFIGURACIÓN*"TAMAÑO LOTE (WIP)"

*(UTILIZACIÓN+SQRT (UTILIZACIÓN

*(1-UTILIZACIÓN OTROS TIEMPOS)))) / (TIEMPO TOTAL

PREVISTO*UTILIZACIÓN*(1-UTILIZACIÓN OTROS TIEMPOS-
UTILIZACIÓN))

Units: Piezas

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

- (013) $\text{LOTE ÓPTIMO MEDIO} = \text{LOTE ÓPTIMO ACUMULADO} / \text{Time}$
Units: Piezas
- (014) $\text{"TAMAÑO LOTE (WIP)}" = \text{RANDOM UNIFORM (147,700,99)}$
Units: Piezas
- (015) $\text{TAMAÑO LOTE ACUMULADO} = \text{INTEG ("TAMAÑO LOTE (WIP)", "TAMAÑO LOTE (WIP)')}$
Units: Piezas
- (016) $\text{TAMAÑO LOTE MEDIO} = \text{TAMAÑO LOTE ACUMULADO} / \text{Time}$
Units: Piezas
- (017) $\text{TIEMPO CONFIGURACIÓN} = \text{RANDOM UNIFORM (0.2,4,99)}$
Units: Horas
- (018) $\text{TIEMPO CONFIGURACIÓN ACUMULADO} = \text{INTEG (TIEMPO CONFIGURACIÓN, TIEMPO CONFIGURACIÓN)}$
Units: Horas
- (019) $\text{TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES} = \text{RANDOM UNIFORM (20,13,99)}$
Units: Horas
- (020) $\text{TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES ACUMULADO} = \text{INTEG (TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES, TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES)}$
Units: Horas
- (021) $\text{TIEMPO MANTENIMIENTO} = \text{RANDOM UNIFORM (0.1,0.8,99)}$
Units: Horas
- (022) $\text{TIEMPO MANTENIMIENTO ACUMULADO} = \text{INTEG (TIEMPO MANTENIMIENTO, TIEMPO MANTENIMIENTO)}$
Units: Horas
- (023) $\text{TIEMPO MEDIO CONFIGURACIÓN} = \text{TIEMPO CONFIGURACIÓN ACUMULADO} / \text{Time}$
Units: Horas
- (024) $\text{TIEMPO MEDIO ESPERA} = \text{FACTOR AMPLICADOR VARIACIÓN} * \text{FACTOR AMPLIFICADOR UTILIZACIÓN} * \text{TIEMPO MEDIO TRABAJO}$
Units: Horas

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

- (025) TIEMPO MEDIO LLEGADA ENTRE LOTES=
TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES ACUMULADO/Time
Units: Horas
- (026) TIEMPO MEDIO PROCESO=TIEMPO PROCESO ACUMULADO/Time
Units: Horas
- (027) TIEMPO MEDIO TRABAJO=TIEMPO TRABAJO ACUMULADO/Time
Units: Horas
- (028) TIEMPO PARADA POR FALLOS=RANDOM UNIFORM (0,0.4,99)
Units: Horas
- (029) TIEMPO PARADA POR FALLOS ACUMULADO= INTEG (
TIEMPO PARADA POR FALLOS, TIEMPO PARADA POR FALLOS)
Units: Horas
- (030) TIEMPO PROCESO=
"TAMAÑO LOTE (WIP)"/"CAPACIDAD PRODUCCIÓN
(THROUGHPUT)"
Units: Horas
- (031) TIEMPO PROCESO ACUMULADO= INTEG (TIEMPO PROCESO,
TIEMPO PROCESO)
Units: Horas
- (032) "TIEMPO TOTAL MANTENIMIENTO - PARADA"=
TIEMPO MANTENIMIENTO+TIEMPO PARADA POR FALLOS
Units: Horas
- (033) "TIEMPO TOTAL MANTENIMIENTO-PARADA ACUMULADO"= INTEG (
"TIEMPO TOTAL MANTENIMIENTO - PARADA",
"TIEMPO TOTAL MANTENIMIENTO - PARADA")
Units: Horas
- (034) "TIEMPO TOTAL MEDIO MANTENIMIENTO-PARADA"=
"TIEMPO TOTAL MANTENIMIENTO-PARADA ACUMULADO"/Time
Units: Horas
- (035) TIEMPO TOTAL MEDIO PREVISTO=
TIEMPO TOTAL PREVISTO ACUMULADO/Time
Units: Horas

- (036) TIEMPO TOTAL MEDIO RECURSOS OCUPADOS=
TIEMPO TOTAL RECURSOS OCUPADOS ACUMULADO/Time
Units: Horas
- (037) TIEMPO TOTAL PREVISTO= WITH LOOKUP (
TIEMPO TOTAL RECURSOS OCUPADOS,
([(0,0)-(80,200)],(0,0),(15,21),(80,125)))
Units: Horas
- (038) TIEMPO TOTAL PREVISTO ACUMULADO= INTEG (
TIEMPO TOTAL PREVISTO, TIEMPO TOTAL PREVISTO)
Units: Horas
- (039) TIEMPO TOTAL RECURSOS OCUPADOS=TIEMPO TRABAJO
Units: Horas
- (040) TIEMPO TOTAL RECURSOS OCUPADOS ACUMULADO= INTEG (
TIEMPO TOTAL RECURSOS OCUPADOS,
TIEMPO TOTAL RECURSOS OCUPADOS)
Units: Horas
- (041) TIEMPO TRABAJO= TIEMPO PROCESO+TIEMPO CONFIGURACIÓN+
TIEMPO PARADA POR FALLOS+TIEMPO MANTENIMIENTO
Units: Horas
- (042) TIEMPO TRABAJO ACUMULADO= INTEG (
TIEMPO TRABAJO, TIEMPO TRABAJO)
Units: Horas
- (043) UTILIZACIÓN=
(TIEMPO TOTAL MEDIO RECURSOS OCUPADOS/TIEMPO TOTAL
MEDIO PREVISTO)
Units: **undefined**
- (044) UTILIZACIÓN OTROS TIEMPOS=
"TIEMPO TOTAL MEDIO MANTENIMIENTO-PARADA"/TIEMPO
TOTAL MEDIO PREVISTO
Units: **undefined**
- (045) VARIANZA MEDIA TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES=
VARIANZA TIEMPO LLEGADA ENTRE LOTES ACUMULADA/Time
Units: **undefined**

- (046) $VARIANZA\ MEDIA\ TIEMPO\ PROCESO = \frac{VARIANZA\ TIEMPO\ PROCESO\ ACUMULADA}{Time}$
 Units: **undefined**
- (047) $VARIANZA\ TIEMPO\ LLEGADA\ ENTRE\ LOTES\ ACUMULADA = INTEG (((TIEMPO\ LLEGADA\ ENTRE\ LOTES - TIEMPO\ MEDIO\ LLEGADA\ ENTRE\ LOTES)^2), ((TIEMPO\ LLEGADA\ ENTRE\ LOTES - TIEMPO\ MEDIO\ LLEGADA\ ENTRE\ LOTES)^2))$
 Units: **undefined**
- (048) $VARIANZA\ TIEMPO\ PROCESO\ ACUMULADA = INTEG (((TIEMPO\ PROCESO - TIEMPO\ MEDIO\ PROCESO)^2), ((TIEMPO\ PROCESO - TIEMPO\ MEDIO\ PROCESO)^2))$
 Units: **undefined**

6.6.2. Ecuaciones modelo dinámico “Lote Óptimo”

- (01) FINAL TIME = 8000
 Units: Hour
 The final time for the simulation.
- (02) LEAD TIME MEDIO =
 TIEMPO MEDIO ESPERA + TIEMPO MEDIO TRABAJO
 Units: Horas
- (03) LOTE ÓPTIMO =

$$\frac{(TIEMPO\ CONFIGURACIÓN * TAMAÑO\ LOTE\ (WIP) * (UTILIZACIÓN + \sqrt{UTILIZACIÓN * (1 - UTILIZACIÓN\ OTROS\ TIEMPOS)}))}{(TIEMPO\ TOTAL\ PREVISTO * UTILIZACIÓN * (1 - UTILIZACIÓN\ OTROS\ TIEMPOS - UTILIZACIÓN))}$$
 Units: Piezas
- (04) LOTE ÓPTIMO ACUMULADO = INTEG (LOTE ÓPTIMO, LOTE ÓPTIMO)
 Units: Piezas
- (05) LOTE ÓPTIMO MEDIO = LOTE ÓPTIMO ACUMULADO / Time
 Units: **undefined**
- (06) "TAMAÑO LOTE (WIP)" = RANDOM UNIFORM (147,700,99)
 Units: Piezas

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

- (07) TIEMPO CONFIGURACIÓN=RANDOM UNIFORM (0.2,4,99)
Units: Horas
- (08) TIEMPO CONFIGURACIÓN ACUMULADO= INTEG (TIEMPO CONFIGURACIÓN, TIEMPO CONFIGURACIÓN)
Units: Horas
- (09) TIEMPO TOTAL PREVISTO= WITH LOOKUP (TIEMPO TOTAL RECURSOS OCUPADOS, ((0,0)-(80,200)],(0,0),(15,21),(80,125)))
Units: Horas
- (010) UTILIZACIÓN=
(TIEMPO TOTAL MEDIO RECURSOS OCUPADOS/TIEMPO TOTAL MEDIO PREVISTO)
Units: **undefined**
- (011) UTILIZACIÓN OTROS TIEMPOS=
"TIEMPO TOTAL MEDIO MANTENIMIENTO-PARADA"/TIEMPO TOTAL MEDIO PREVISTO
Units: **undefined**

7. Conclusiones

Sobre el tiempo....

QRM es sin duda una filosofía de trabajo y empleo de herramientas, que ayudan a las empresas a potenciar sus habilidades con el objetivo de reducir los tiempos de sus procesos. En el tiempo está precisamente enfocado QRM. Mientras la mayoría de las organizaciones, con estructuras organizativas muy verticales, se centran en la reducción de costes como principal objetivo, QRM presta mayor atención en reducir los tiempos de respuesta en cada departamento, no solo en el entorno productivo o manufacturero, sino en toda la organización, e incluso más allá, ya que el proceso de transformación y materialización de los pedidos de los clientes, comienza en el aprovisionamiento de los materiales vía proveedores y acaba en dichos clientes, verdaderos protagonistas y consumidores de calidad.

Tiempo vs coste, es el reto que plantea este conjunto de herramientas. El objetivo de todo directivo o gerente que vele por los intereses de su negocio es el de reducir los costes en la empresa. Hasta aquí nada que objetar, si no fuera por el hecho de que los costes tienen apariencias diversas, siendo precisamente los más difíciles de detectar, los basados en las pérdidas de tiempo. Ocultos entre la carga de trabajo de los diferentes departamentos, que desde un principio ya van justos de personal precisamente para reducir los costes, se producen demoras en el proceso, de carácter administrativo o manufacturero, cuya repercusión acaba siendo "ocultada" por una concatenación de engrosamientos como alargar el tiempo planificado para elaborar un producto o gestionar un servicio, aumentar el trabajo en proceso (WIP), deterioros en los materiales que sufren mayor número de movimientos para recorrer los flujos, etc.

QRM pretende y de hecho consigue, reducir los tiempos para reducir costes en primera instancia (menor tiempo empleado, mayor capacidad productiva y mejor flexibilidad) y por supuesto la satisfacción de los clientes que ven recortados sus tiempos de espera de los productos requeridos, con una mayor calidad que hacen de nuestra empresa una organización en la que confiar.

En el Capítulo 2 comenzamos hablando de Einstein, de lo importante que es el tiempo, de que seamos conscientes que es más beneficioso para una empresa, reducir los tiempos de respuesta y ser rápidos o reducir los costes. Como ha quedado patente a lo largo de este trabajo, las empresas focalizadas solamente en reducir costes, a corto, medio y largo plazo se convierten en empresas débiles porque dan de lado al conocimiento que puede aportar la estructura, no serán capaces de retener el talento, provocando malestar y descontento entre sus empleados.

Sobre la diferencia....

La gran diferencia de la mayoría de metodologías respecto a QRM reside en intentar eliminar la variabilidad en el sistema, ya que desde un enfoque tradicional se piensa que la variabilidad es negativa para el mismo, utilizando muchas herramientas para eliminarla. En cambio, QRM considera que en algunos contextos de negocio la variabilidad puede ser positiva, por ejemplo, si se ofrecen a los clientes muchos productos diferentes con diversas opciones y personalizaciones.

Así, QRM no pretende eliminar la variabilidad, sino que la aprovecha, sobre todo si es estratégica. Para ello, se rediseña la estructura organizativa de la empresa bajo esta metodología con el fin de tratar con eficacia la misma.

QRM se centra en el tiempo como principal factor impulsor de su estrategia. Como todo está impulsado para analizar globalmente el tiempo en un sistema, pronto se detecta que comprimiéndolo se consiguen mejoras en numerosas métricas.

Sobre la organización....

Respecto a la estructura

En la estructura organizativa tradicional cada departamento se responsabiliza de una función específica, es decir, se trata de una estructura que realiza funciones gremiales. En QRM, la estructura está formada por unidades celulares enfocadas a algún tipo de mercado, a alguna familia de productos, a algún proceso en concreto, a realizar ofertas, etc.

Respecto a la responsabilidad

En la estructura organizativa tradicional los mayores niveles de compromiso y responsabilidad recae principalmente en la parte superior de la organización, donde se decide y se gestiona, dejando la parte inferior u operativa de la organización sólo para ejecutar las decisiones tomadas en el nivel de gestión, es lo que se conoce como una gestión "TOP-DOWN". En QRM se realiza verdadera autogestión, es decir, el equipo toma decisiones de forma autónoma. Tanto a nivel directivo como a nivel operativo de la organización se piensan, deciden y realizan acciones; pero con una salvedad, en la parte de dirección existe una visión estratégica que normalmente no está en la parte operativa, al menos inicialmente.

Respecto a la polivalencia

En la estructura organizativa tradicional los departamentos o áreas gremiales están formados por personal altamente especializado, con estrecho rango de

habilidades. En QRM se busca la versatilidad y polivalencia, donde los miembros del equipo tienen una amplia gama de habilidades. Cuando se crean las áreas autogestionadas, la responsabilidad de todo lo que sucede dentro de ella es colectiva, no individual.

Respecto a la eficiencia

El enfoque tradicional de la eficiencia pasa por buscar la máxima productividad, la eficiencia de los recursos, en no gastar en costes directos, aunque en ocasiones se siguen incorporando algunos recursos en la estructura, principalmente humanos. Sin embargo, QRM busca la eficiencia de flujo, es acción-reacción, es reducir al mínimo los lead time, es ser rápidos y ser rápidos siempre. La planificación es otro concepto en QRM que prácticamente desaparece o se minimiza, puesto que se elimina la estructura de mandos y cargos intermedios que la realizaban.

Sobre la revolución....

Fundamentalmente, QRM cuestiona los principios básicos de la gestión de la empresa (enfoques basados en el coste), poniendo en entredicho las métricas actuales (rendimiento, productividad, etc.) y viejas políticas largamente instauradas, proponiendo realizar cambios de 180 grados en la aplicación de algunas de ellas que existen desde hace más de 100 años con Henry Ford.

Por ejemplo, una práctica habitual de las gerencias y dirección tradicionales es la gestión por presupuestos, consistente en intentar controlar y limitar el capítulo de gasto de la empresa por departamentos, funciones o áreas. Encontrarse en un entorno complejo (donde no hay dos días iguales dentro de la empresa), con distintos proyectos de I+D y de mejora continua, con cargas de todo tipo entrelazadas, con una demanda de mercado irregular y mix de productos imprevisible, genera cierta inquietud en las gerencias y direcciones de cualquier empresa, pues no pueden prever qué recursos se van a necesitar para operar eficazmente. Así, con la idea de controlar el gasto y la empresa, aparece esta gestión por presupuestos.

Sabiendo a priori que la demanda es irregular, el gasto también lo es; por tanto, esta práctica que limita el gasto empeora el día a día. El impacto de dicha práctica en los departamentos y áreas de gestión de la empresa es diverso. Los departamentos que tiene poca carga lo gasta todo, resultando derroche y despilfarro. En cambio, los departamentos que disponen de un límite demasiado corto para sus necesidades, saturan su estructura y aumentan la presión. Este desequilibrio es lo que el Lean Manufacturing llama "MURA".

Este comportamiento produce el siguiente efecto para los clientes:

EL IMPACTO DEL QRM EN LA INDUSTRIA DEL SIGLO XXI

- En las zonas con los recursos sobrecargados es difícil cumplir fechas, luego el servicio al cliente se resiente.
- El exceso de presión en lo equipos empeora la calidad.
- En las zonas con más carga aparecen colas de proceso y se disparan los plazos de entrega, empeorando la capacidad de respuesta al mercado.
- Por último, el aumento de stocks debido a las colas (WIP), la sobregestión de los equipos al aumentar los lead times, así como el “MUDA” de los equipos con poca carga, empeoran fuertemente el coste de la empresa.

Estas son las consecuencias de intentar controlar el caos, en ocasiones incontrolable, del día a día. Por lo tanto, la solución pasa por disolver la complejidad en 4 sencillos pasos:

1. Modificando nuestro sistema organizativo

No tiene sentido trabajar por departamentos funcionales llenos de especialistas poco implicados y viendo como la complejidad aumenta al tener procesos que viajan a través de varios departamentos, con estilos de gestión y objetivos distintos. En su lugar, células de proceso autogestionadas con alta polivalencia cruzada.

2. Cambiando el estilo de liderazgo de nuestros directivos y mandos intermedios

Desterrar el estilo “TOP–DOWN” (yo decido – tu aplicas). Estos héroes son sustituidos por expertos en gestión de colas y cargas, que invierten parte de su tiempo más valioso en el área estratégica de la empresa, ejerciendo de “COACHS” con los equipos celulares.

3. Invirtiendo en la gestión del conocimiento

Más que nunca, estos entornos complejos necesitan una libre circulación e intercambio de conocimiento entre las distintas áreas, requisito indispensable para conseguir equipos altamente polivalentes y con una baja tasa de errores.

4. Transformar a todos los colaboradores y mandos

Éstos deben olvidar la productividad de los equipos y centrarse en maximizar el flujo reduciendo colas, minimizando lead times y enfocando toda la energía para aumentar la implicación y conocimiento de todos.

Otro aspecto de la revolución que propone QRM, son las herramientas para motivar a los integrantes de las organizaciones que deciden implantar la

estrategia, mediante iniciativas para la resolución de problemas y la formación transversal en polivalencia para la toma de decisiones a título individual. Se puede pensar que este planteamiento parece sensato y sencillo cuanto todo va bien en la organización, pero si las cosas comienzan a ir mal y aparece el fracaso, el no tener un responsable único sobre el que recaiga la responsabilidad nos puede llevar a pensar que nos generará un problema mayor. Esta forma de pensar es incorrecta, no se generan problemas mayores, siempre hay problemas y situaciones que solucionar y la dirección debe tener paciencia. En definitiva, se trata de gestionar esos problemas.

Todas las organizaciones están formadas por personas de distintos perfiles. Entre estos perfiles aparecen, por supuesto, los desimplicados y desmotivados. En este sentido, QRM se propugna como la mejor metodología para motivar a todos los integrantes de la organización, que les renueve el interés por disfrutar del trabajo y el sentimiento de sentirse orgullosos de lo que están haciendo, construyendo el día a día. Los desimplicados y desmotivados quizás no recuerden su primera experiencia laboral o el día que comenzó su andadura profesional en la empresa, pero seguramente estaban muy ilusionados por realizar un gran trabajo y que el mismo permitiera que las cosas funcionaran.

Sobre el pánico al cambio....

Las personas son resistentes al cambio, a salir de su círculo de confort. Cuando gerencia o dirección, apoyados por la metodología QRM, pide a supervisores de planta, responsables de producción, ingeniería, etc. a focalizarse en otros aspectos de la empresa para mejorarlos, es muy probable que éstos estén reticentes, se posicionen de frente y no lo vean claro inicialmente. Por lo tanto, el reto pasa, en primer lugar, por “desaprender” para iniciar seguidamente un proceso de un nuevo aprendizaje basado en la formación y entrenamiento de las personas. Estos procesos recaen desde los máximos responsables de la organización hasta los operarios de planta, pasando por los cargos o mandos intermedios.

Este cambio provoca en los colectivos de la organización algunos daños colaterales. Por este orden, el primero que se ve afectado es el colectivo de los cargos o mandos intermedios, que desaparecen completamente, puesto que no son necesarios. Por lo tanto, hay que ayudarles a pasar esa transformación, dirigiéndolos en la mayoría de casos a ser líderes de una célula QRM, personal de soporte, formadores u otras figuras; el segundo colectivo damnificado es el directivo, que en muchos casos pierden el departamento, ya que las personas se distribuyen entre varias áreas o sub áreas. No obstante, muchos de estos directivos evolucionan hacia un equipo denominado “Equipo Permanente Directivo”, más focalizado en la estrategia de la empresa a medio y largo plazo,

en hacer benchmarking¹⁹, en asistir a ferias, en realizar acciones de marketing relacional con clientes, en dirigir grandes cuentas con asuntos y/o proyectos complicados, etc.

Sobre la implantación....

En primer lugar, debemos preguntarnos si el actual modelo de negocio es el adecuado para el mercado al que me dirijo, para los clientes y para el tipo de producto que fabrico. Se trata, desde un nivel superior, contestar a esta pregunta para comprobar que QRM puede ser una oportunidad. En segundo lugar, debemos averiguar si tenemos largos lead times en los procesos y cuál es su impacto. Si hemos leído o escuchado algo sobre QRM, podremos entender cómo enfocar esta pregunta y evaluar si estos largos lead times están produciendo un impacto muy negativo y, por tanto, aparecen oportunidades de mejora. Y en tercer y último lugar, una vez convencidos gerentes y directores que QRM es la estrategia más adecuada para el negocio, deberán aprender a cómo implantarlo.

QRM puede implantarse en grandes empresas, con un gran número de empleados, con posibilidades de aumentar los beneficios porque existen oportunidades de mejora y donde, además, suelen tener tiempos de respuesta lentos. No obstante, QRM también puede implantarse en pequeñas empresas, con menor número de empleados, con la ventaja añadida que su implantación será en apenas 6 meses, dependiendo por supuesto del tamaño, frente a los 3 años que puede prolongarse la transformación de una gran empresa. Habitualmente, cuando se implanta QRM en una organización, la parte más lenta y costosa es la del cambio mental, puesto que es un cambio drástico y contundente.

En una empresa donde se ha implantado QRM todo cambia, pues se trata de pasar de un entorno donde hay multitud de tareas y trabajo infinito por realizar, a otro donde en el cual no hay tantas tareas por hacer al mismo tiempo, porque una gran parte de ellas están hechas.

Las gerencias de las organizaciones tradicionales quieren que los recursos no paren (enfoque a productividad), que no posean ninguna sobrecapacidad; por tanto, cuando hay algún recurso que está próximo a parar o a quedarse sin trabajo, saltan todas las alarmas. Sin embargo, desde el enfoque QRM, si todos los recursos tienen mucha carga de trabajo, es muy probable que existan grandes colas y, con colas, los lead times se disparan, las ventas disminuyen porque el mercado está descontento con la gestión que realizas de sus pedidos y, además, se necesita más estructura para planificar retrasos en los plazos de entrega, reprocesamientos de productos, reclamaciones de calidad, etc. Parece

¹⁹ El benchmarking es un proceso continuo por el cual se toma como referencia los productos, servicios o procesos de trabajo de las empresas líderes, para compararlos con los de tu propia empresa y posteriormente realizar mejoras e implementarlas.

que, con este panorama, no es demasiado acertado que los recursos no posean sobrecapacidad, aunque las gerencias seguirán contentas porque los recursos no paran.

Si podemos entender e implementar QRM antes que nuestra competencia se dé cuenta de cómo hacerlo, tendremos enormes oportunidades en el mercado, mejoras en la rentabilidad y un ambiente de trabajo muy estimulante para nuestra organización y empleados. En tal caso, deberemos definir una hoja de ruta para aplicar QRM que se podría resumir en 4 pasos:

1. Destacar el poder del tiempo en su organización

En este primer paso, se intentará crear conciencia sobre el impacto del tiempo (MCT) en las operaciones:

- Se organizarán formaciones básicas de QRM para directivos y empleados, con el fin de que puedan entender los conceptos principales de QRM.
- Se realizará una primera lista de los principales derroches debidos a los largos MCT en la organización y se cuantificarán económicamente los mismos.

Se utilizará esta lista para motivar la formación de un equipo directivo de alto nivel para el proyecto denominado “Comité QRM”, encargado de implementar la metodología en la organización. Dicho comité no realizará físicamente los proyectos QRM, sino que se encargará de supervisar su progreso. Además, deberá tener suficiente poder de influencia como para obtener financiación, y cuando sea necesario, cambiar viejas políticas largamente instauradas:

- Se designará la figura del “Defensor QRM”, un empleado experimentado con una alta formación en QRM y firme creyente en la metodología. El defensor QRM se deberá involucrar más en el apoyo del día a día, en la coordinación y la facilitación de equipos de proyectos y en mantenerlos en marcha activamente. El defensor, como miembro del Comité QRM, será el enlace entre el comité y los proyectos.
- El Comité QRM conocerá los MCT iniciales de algunos productos clave, prestando especial atención, a las horas de no valor del MCT. En esta etapa, no será necesario realizar un análisis exhaustivo del MCT, siendo suficiente un análisis superficial.
- En base a este análisis, el Comité QRM reunirá un conjunto de productos o toda un área como objetivo del primer proyecto de QRM.

2. Crear la estructura organizativa adecuada

En primer lugar, se formará un equipo de planificación transversal para el estudio de este primer proyecto QRM, compuesto por personas de las principales áreas funcionales y con experiencia para participar en tormentas de ideas y para identificar nuevos procesos o procedimientos relacionados con el área del proyecto:

- Se realizarán formación sobre los fundamentos de QRM para todos los miembros del equipo de planificación.
- El equipo de planificación tendrá las mejores medidas de MCT para el área del proyecto y, junto con el análisis de la demanda de los productos, las necesidades estratégicas y otros factores, definirá detalladamente el FTMS concreto para el proyecto QRM.
- El equipo de planificación suministrará los procedimientos para la célula o células QRM según el FTMS en cuestión. En el proceso, los miembros del equipo utilizarán su conocimiento sobre QRM para hallar procesos alternativos y procedimientos que puedan convertirse en células más compactas e integrales y con menor MCT. Por lo tanto, los miembros del equipo de planificación deberán realizar un ejercicio de comprensión sobre los objetivos de QRM, principalmente en términos de tiempo.
- Con el apoyo y la experiencia del defensor QRM, el equipo de planificación presentará sus recomendaciones a la gerencia, junto con un análisis de coste-beneficio, con el fin de obtener la aprobación para su implementación.

En segundo lugar, se formará al equipo de implementación del proyecto. Este equipo incluye a todas las personas que estarán en las células, además de algunas personas de apoyo claves para ayudar en la implementación:

- Se realizará formación del equipo de implementación en los principios de QRM. También se podrán contar con expertos que ayuden en la organización de equipos y la gestión de sus procesos. A continuación, se formarán las células físicamente, moviendo máquinas o personas, según sea necesario.
- Se arrancarán las células y se asignará la responsabilidad real al equipo. Se fomentará y apoyará la formación en conceptos de polivalencia dentro de las células.
- Después del arranque, se asegurará que el equipo de implementación sigue recibiendo asesoramiento del defensor en QRM y un fuerte apoyo del comité QRM para poder superar los obstáculos de organización, además de poder

cambiar viejas políticas que pueden estar obstaculizando el rendimiento de la célula.

- Se medirá el MCT y se aplicará el número QRM como métrica clave del desempeño para las células.

3. Comprender y aprovechar la dinámica de sistemas

Se revisarán las políticas relacionadas con el grado de utilización de los recursos y el dimensionamiento de los lotes, en concreto:

- Se planificará la carga de las células manteniendo capacidad de reserva.
- Se estimulará a los equipos celulares a participar en un programa de reducción del tamaño de lotes.
- Si algún paso anterior creara cuellos de botella, se trabajarán con los equipos para aliviar estos cuellos de botella, utilizando por ejemplo las sugerencias del apartado 5.7 de este trabajo.

4. Trabajar hacia una estrategia global y única

Se evaluarán los resultados del proyecto de QRM. Se reconocerá y pondrá en valor el esfuerzo de los equipos y se comunicarán los logros alcanzados a toda la organización:

- Se seguirá evolucionando junto al entusiasmo de la primera serie de equipos, ampliándose la formación en QRM para abarcar a más personal.
- Se incitará a los empleados a sugerir FTMS adicionales para el siguiente conjunto de proyectos QRM. Si fuera necesario, se nombrarán campeones adicionales.
- Se implementará QRM en estas áreas utilizando los pasos descritos anteriormente.
- A medida que se vayan formando más células, se considerará si es el momento de plantearse la utilización de POLCA para coordinar los flujos entre las mismas.

Se ampliarán los esfuerzos más allá de la planta:

- Para obtener resultados óptimos, se asegurarán que los proyectos QRM empezarán a abarcar tanto las operaciones de oficinas, de planta, como de la propia cadena de suministro.

- Para apoyar estos esfuerzos, se ampliará el indicador MCT para cubrir más secciones de la empresa y de la cadena de suministro. Se hará público los números QRM no sólo para las células, sino también para segmentos más amplios y se fomentará no solo a nivel local, sino también a nivel de toda la empresa.

En estos 4 pasos se encuentra la estructura única, ideal y eficaz de organización para apoyar la implementación de QRM. Esta estructura se apoya sobre cuatro entidades diferentes identificadas dentro de los pasos anteriores. La primera es el comité QRM de alto nivel para impulsar la aplicación QRM a través del compromiso de la gerencia. Junto al comité, está el defensor QRM, persona cualificada con suficiente formación y experiencia para apoyar a los equipos de proyecto en su día a día, así como para proporcionar un enlace entre los equipos de proyecto y el comité QRM. El siguiente es el equipo de planificación de proyecto, seguido por el equipo de implementación. Se pueden entender los diferentes roles de estas cuatro entidades a partir de los pasos anteriores.

Sobre la utilización y el lead time....

Como se ha demostrado, cuando la utilización se aproxima al 100%, el lead time tiende a infinito. Bajo esta premisa, el planteamiento pasa por tener más sobrecapacidad en los recursos cuanto más irregular es la demanda; por lo tanto, a tener más recursos de los necesarios o en realizar menos tareas simultáneas de las que nos gustaría, decisiones que parecen lo mismo.

Cuando visitemos una planta productiva que sepamos previamente que su demanda es irregular y veamos que sus recursos están sobrecapados, lo primero que debemos pensar es que tendrán largos lead times, colas y malos plazos de entrega. Por tanto, seamos cautos en contratar con ellos, máxime si es algo urgente, porque si no somos lo suficientemente grandes u objetivo para ellos, la respuesta dejará mucho que desear. Contrariamente, si vemos recursos con sobrecapacidad, máquinas paradas, operarios que se complementan, bien organizados y polivalentes, podemos pensar que contratar con ellos es una decisión acertada.

Por ejemplo, Toyota pide por contrato a todos sus proveedores en Japón, que tengan como mínimo un 20% de sobrecapacidad en todos sus procesos críticos y, además, les obliga a reflejarlos en el mismo. La demanda de Toyota es regular, pero aun siendo los creadores y máximos exponentes del Lean Manufacturing, saben que en ocasiones ocurren imprevistos (clientes que realizan promociones, productos afectados por problemas de calidad, etc.). Por ello, si tienen los recursos al 100% (según la demanda) y no disponen de capacidad para absorber los imprevistos, sólo podrán realizar lo siguiente pero

nunca éstos, lo que implicaría no poder dar una rápida respuesta; por tanto, obliga a sus proveedores que posean esa sobrecapacidad.

Volviendo al ejemplo del restaurante del apartado 2.4 y a la Figura 19, se puede comprobar que la curva es más vertical cuando existe mucha variabilidad y más horizontal cuando existe poca variabilidad. Si en el restaurante no ocurre ningún imprevisto, la variabilidad del mismo es muy baja (idealmente casi 0) y la curva es prácticamente horizontal. Por lo tanto, no consigo nada disponiendo de sobrecapacidad (más camareros, máquinas de café, etc.), puesto que la curva es constante y el lead time no se modifica. Así, qué sentido tiene disponer de más recursos, es un derroche o despilfarro, es lo que Lean Manufacturing denomina “MURA”²⁰. Por el contrario, si al mismo restaurante estuviesen llegando de forma irregular autocares de turistas, la curva es muy vertical, por lo tanto, necesito sobrecapacidad, polivalencias, ayuda externa, en definitiva, más recursos.

Sobre el modelo dinámico propuesto en este trabajo....

Sin duda, disponer de herramientas que permita conocer en profundidad todos los factores que participan en cualquier proceso productivo, gestionar imprevistos, retrasos en la producción o en la entrega de pedidos, anticiparse a cambios bruscos e inesperados en la demanda, baja calidad en los productos, posibles errores futuros o simular el impacto de diferentes formas de organizar la producción, son respuestas relativamente fáciles de contestar cuando se dispone de un modelo dinámico.

El modelo construido basado en la metodología QRM para la obtención del lead time y el lote óptimo aporta una visión dinámica sobre aspectos que intervienen en cualquier proceso de fabricación, permitiendo la realización de simulaciones sobre el mismo para conocer el comportamiento de factores claves como la variabilidad en el número de piezas a fabricar o en la cadencia con la que se van a presentar a la entrada del sistema, grado de utilización de los recursos, lead time, etc.

Los modelos de simulación, en general, y este, en particular, ayuda a identificar el impacto de cualquier variación que afecte a la evolución general del proceso de fabricación, a detectar aquellos puntos que presentan retrasos, permitiendo a la dirección de la empresa focalizarse en aquellos problemas que pudieran existir y extraer las conclusiones oportunas. Además, debido a la personalización de los productos en la que la empresa apoya su ventaja

²⁰ MURA es cualquier variación no prevista que produce irregularidad en el proceso y provoca desequilibrio. El Mura puede surgir a causa de la variación de la demanda, sobreproducción de productos innecesarios, etc.

competitiva, disponer de un modelo de simulación es más rápido y eficaz, presenta menor coste que la realización de pruebas sobre el sistema real y, por supuesto, seguro ya que evita cualquier daño físico a personas o a las instalaciones. Así, las pruebas realizadas en el sistema real deben servir para confirmar los resultados obtenidos en modelo dinámico.

Para las empresas y, en concreto, para sus gerentes y responsables, la utilización de este modelo de simulación les puede permitir:

- Definir la política de venta de sus productos en función de la rapidez del servicio, pudiendo el cliente aceptar un sobrecoste respecto a otros fabricantes competencia de éste, por el simple hecho de tener bajos plazos de entrega. La consecuencia inmediata para el fabricante que posea esta herramienta será la de seguir vendiendo, aprovechando dicha ventaja competitiva para hacerlo a un precio superior y obtener el correspondiente aumento de margen que seguramente está buscando. La cuestión es ver hasta qué punto la velocidad de respuesta puede generar más ventas.
- Diseñar diferentes estrategias de marketing por tipología de producto y mercado, gracias a la personalización en la que está basada la estrategia competitiva de la empresa.
- Analizar posibles inversiones financieras, infraestructuras, etc., mediante la reasignación de costes basados en el tiempo que permitan obtener algunos ratios financieros, tales como el retorno de la inversión (ROI o Return On Investment), valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), etc.
- Cambiar la estructura organizativa redistribuyendo los recursos cuando se detectan largos tiempos de espera, por tanto, deficientes tiempos de respuesta y cuellos de botella.
- Gestionar el conocimiento a medida que se alcanzan los objetivos que pronostica el modelo dinámico, ya que su desarrollo e implantación incrementa los activos intangibles en la organización. Según Davenport y Prusak (2000), en el siglo XXI la competitividad y la sostenibilidad de las organizaciones productivas, se basa en los activos del conocimiento y en su gestión. Así, la gestión de los activos intangibles es clave para la creación de valor en las organizaciones y fuente de ventaja competitiva. En este sentido, la utilización del modelo dinámico genera un conocimiento que permite mejorar el rendimiento y el desempeño del propio proceso de fabricación y, en general, de toda la organización.
- Aplicar políticas de calidad con el único objetivo de posicionarse en el mercado con las mejores garantías que posibilite alcanzar una mayor cuota de mercado y elevados niveles de fidelización de los clientes.

8. Bibliografía

- Aracil, Javier (1986). Introducción a la Dinámica de Sistemas. Madrid. Alianza Editorial, S.A.
- Campuzano, Francisco (2018). Apuntes Modelos de Decisión y Simulación de Sistemas Logísticos. Máster Universitario en Organización Industrial. Cartagena. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Lencioni, Patrick (2003). Las cinco disfunciones de un equipo: Un inteligente modelo para formar un equipo cohesionado y eficaz. Barcelona, España. Urano España.
- Madariaga N., Francisco (2018). Lean Manufacturing: Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familia de productos mediante procesos discretos. Versión 2.1.
- Martín G., Juan (2003). Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. Barcelona, España. Juan Martín García.
- Suri, Rajan (1998). Quick Response Manufacturing: A Company Wide Approach to Reducing Lead Times. Portland, United States. Productivity Press.
- Suri, Rajan (2010). It's About Time: The Competitive Advantage of Quick Response Manufacturing. New York, United States. Productivity Press.
- Suri, Rajan (2014). La producción es cuestión de tiempo: La ventaja competitiva de la Fabricación de Respuesta Rápida. Barcelona, España. Libros de Cabecera, S.L.