

S

I

S

T

E

M

A

S

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas  
Editor & Compilador

D I N Á M I C O S

2018

**SISTEMAS  
DINÁMICOS  
2018**

**SISTEMAS  
DINÁMICOS  
2018**

***Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas***  
***EDITOR & COMPILADOR***

## Sistemas Dinámicos

**Editor:** Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

**Dirección:** Av. El Retablo 808 2do. Piso Urb. El Retablo, Comas. Lima-Perú

**Correo electrónico:** fjavierwongc@yahoo.es

**Compilador:** Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

**Diseño y Redacción:** Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

**ISBN:** 978-612-00-4024-9

**Primera edición digital:** diciembre 2018

**Libro electrónico disponible en:** <http://ctscafe.pe>

# Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) y Six Sigma en la industria



Mg. Fernando Noriega Bardalez

Director del Departamento Académico de Producción y Gestión Industrial FII UNMSM

Profesor de Pregrado y Posgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM

Doctorando de Ingeniería Industrial FII UNMSM

Profesor Contratado del Dpto. de Ingeniería de la PUCP

Profesor Contratado de los Cursos de Especialización de la FCI de la PUCP

Profesor de los Cursos de Titulación del Programa de Extensión de la PUCP

Correo Electrónico: fnoriegab@unmsm.edu.pe

**Resumen:** El propósito principal este artículo es proponer una metodología que reúne los abordajes de la Teoría de Restricciones con la del Lean Six Sigma, en vista de que en la actualidad no se cuenta con una aplicación de estas dos metodologías ampliamente utilizadas individualmente en la industria. Se describe brevemente las metodologías y después se hace una aplicación de las dos juntas.

**Palabras claves:** Procesos/ Restricciones/ Optimización/ Six Sigma/ lean

**Abstract:** The main purpose of this article is to propose a methodology that brings together the approaches of the Theory of Constraints with that of Lean Six Sigma, since there is currently no application of these two methodologies widely used individually in the industry. The methodologies are briefly described and then applied together.

**Keywords:** Processes/ Constraints/ Optimization/ Six Sigma/ lean

## 1. Introducción

En el mundo de los negocios las empresas se enfrentan a un ambiente cada vez más competitivo y para poder sobresalir frente a las demás organizaciones la innovación y la mejora continua deben ser una constante en sus procesos gerenciales y operacionales.

Pero en su trajín diario las empresas tienen que enfrentarse a diversos obstáculos que restringen su camino para alcanzar la meta y para lograrlo recurren a herramientas y metodologías para la resolución de problemas.

Diversos enfoques gerenciales han surgido, unos con mayor éxito que otros, pero usualmente proveen una contribución significativa y apuntan a un mismo objetivo: maximizar el éxito de las empresas o lo que es lo mismo a incrementar la habilidad de una compañía para generar dinero. Cada uno presenta ángulos diferentes para resolver los problemas pero esto no significa que solo uno es válido y los demás estén errados, no implica que debamos escoger una en exclusión de las otras.

Dos de las grandes filosofías que han surgido y han revolucionado el mundo de los negocios y son La Teoría de Restricciones (TOC) y Lean Six Sigma. Son dos enfoques que nos llevan

hacia la mejora pero que provienen de diferentes direcciones lo que lleva a pensar si es que ambos son compatibles. Quizá emplear uno u otra metodología pueda llevarnos a obtener resultados satisfactorios pero por qué no maximizar la eficiencia de TOC empleando Lean Six Sigma.

TOC provee un ambiente en el cual los jugadores puedan entender el sistema profundamente lo que permite identificar el eslabón más débil (restricción) con mayor facilidad y en el cual las herramientas de Lean Six Sigma pueden ser utilizadas para aumentar el throughput de la restricción (explotar la restricción).

El presente trabajo pretende resaltar el efecto positivo que se consigue aplicando TOC y Lean Six Sigma de manera complementaria en los procesos industriales, logrando de esta manera mejorar el throughput de los procesos clave incrementando la capacidad y reduciendo los errores, la cantidad y el costo de los reprocesos y asimismo mejorar la calidad, un medio para alcanzar la meta.

## **2. Las dos herramientas: TOC metodología para aplicar Y Six Sigma**

### **2.1. Complementando TOC y Six Sigma**

Tomando como base las principales metodologías de optimización de procesos que se utilizan en la actualidad como son: Enfoque por procesos, Teoría de Restricciones, Lean Six Sigma, Just in Time (JIT), Total Quality Management (TQM), Normas ISO, Market Driven Quality (MDQ), DMAIC, Gerencia de Procesos, Balanced Scorecard (BSC), SPC, Poka Yoke, SMED, entre otras, en este trabajo se pretende ahora complementar estas metodologías y enfoques atacando los procesos con las herramientas que más se adecuen para la solución del problema. Es así que se busca maximizar los efectos de aplicar TOC empleando las herramientas de Lean Six Sigma de tal forma que se refuercen aspectos que TOC no profundiza para hacer de la metodología más eficiente y eficaz

A continuación se presenta la metodología que se empleará para la implantación de un enfoque de Teoría de Restricciones y Lean Six Sigma para el mejoramiento de un proceso en una planta de manufactura.

Una creencia muy difundida al resolver una situación problemática, nos lleva a pensar que es posible su descomposición en una serie de problemas menos complejos para resolver cada uno por separado y después integrar sus soluciones. De esta manera se espera que cada departamento o área funcional en la organización resuelva sus problemas de forma independiente para que el sistema mejore como un todo. Desafortunadamente los resultados que se obtienen con tal enfoque no son los esperados por la organización y no es raro encontrar situaciones en las que la solución para un departamento pone en riesgo el desempeño de otro. En este sentido, el primer enfoque que se deberá utilizar es La teoría de restricciones para determinar el problema que afecta al sistema ya que presenta mayor robustez en su filosofía para atacar la restricción del global que afecta a todos los procesos del sistema.

La dinámica de negocios de hoy en día, obliga a sus administradores a pensar de forma sistémica, esto es, analizar los problemas y proponer soluciones tomando en cuenta las relaciones existentes entre las partes del sistema y su entorno, encontrar las causas fundamentales de los problemas y atacarlos de raíz. Los procesos de pensamiento permiten hacer esto una realidad en las organizaciones. Se aplicará el proceso de pensamiento de la teoría de restricciones para determinar la causa raíz a través de las herramientas de solución de conflictos, árboles de realidad actual, identificación de paradigmas etc.

TOC presenta dos hechos existentes en todo proceso:

**EVENTOS DEPENDIENTES:** un evento o una serie de eventos deben llevarse a cabo antes de que otro pueda comenzar. Por ejemplo, para atender una demanda de 100 previamente es

necesario que el recurso productivo numero dos fabrique 100 unidades y antes que este, es necesario, que lo mismo haga el recurso productivo numero uno.

**FLUCTUACIONES ESTADÍSTICAS:** suponer que los eventos dependientes se van a producir sin ningún tipo de alteración es una utopía. Existen fluctuaciones que afectan los niveles de actividad de los distintos recursos productivos, como ser: calidad de la materia prima, ausentismo del personal, rotura de máquinas, corte de energía eléctrica, faltante de materia prima e incluso disminución de la demanda.

La combinación de estos dos fenómenos, genera un desajuste inevitable cuando la planta está balanceada, produciendo la pérdida de *throughput* y el incremento de inventarios, según Eliyahu Goldratt (1993).

Lean Six Sigma puede eliminar este tipo de variaciones y ser un complemento para TOC ya que este último no presenta herramientas estadísticas tan robustas como las de Six Sigma. Asimismo, Lean Six Sigma puede estabilizar el sistema a través de la mejora y control de la variabilidad de los procesos que restringen el aumento del *throughput*.

Se aplicará el modelo de mejora de 5 pasos de TOC explicados en mayor detalle en Eliyahu Goldratt (1997) y a partir de este se identificará en cuáles de estos pasos se aplicará Six Sigma:

1. Identificar la restricción.
2. Determinar una estrategia para explotar la restricción hasta su máxima capacidad.
3. Subordinar todas las acciones a la estrategia definida. (Eliminar políticas y actividades que limitan el *throughput* de la restricción).
4. Elevar la restricción (típicamente adquiriendo más capacidad para la restricción o trasladarla a otra parte del sistema).
5. Cuando el proceso deja de ser una restricción, otro aspecto del sistema se convierte en el factor limitante. Se deberá ejecutar nuevamente el paso 1. No dejar que la inercia se convierta en una restricción.

La vivencia de Lean Six Sigma se enfocará en aumentar el *throughput* de la restricción, es decir, se emplearán las herramientas del Six Sigma en la estrategia de explotación de la restricción (paso 2). Esto debido a que al identificarse la restricción del sistema se pasa a evaluar menor cantidad de procesos los cuáles se les considera clave y Six Sigma emplea herramientas que mejor se adecuan a la obtención de óptimos locales.

Para la mejora del desempeño de estos procesos clave se ejecutará a través de grupos que trabajarán mediante un Proyectos de mejora. La selección y desarrollo de proyectos de mejora son aspectos en los que Six Sigma ha tenido éxito y al trabajar en conjunto con TOC se genera mayor ventaja en su utilización al tener mayor conocimiento del sistema y de la restricción.

Se aplicarán las herramientas de la calidad como el diagrama de Ishikawa, gráfica de Pareto etc. para la identificación de los principales problemas que afectan al cuello de botella así como también se buscará la eliminación de todo tipo de desperdicio para facilitar la identificación de problemas.

Se controlará el proceso a través de las medidas de variabilidad y de centralización de la media ejecutando además el análisis de capacidad de proceso. Se buscará llegar al mínimo de defectos mediante el control estadístico

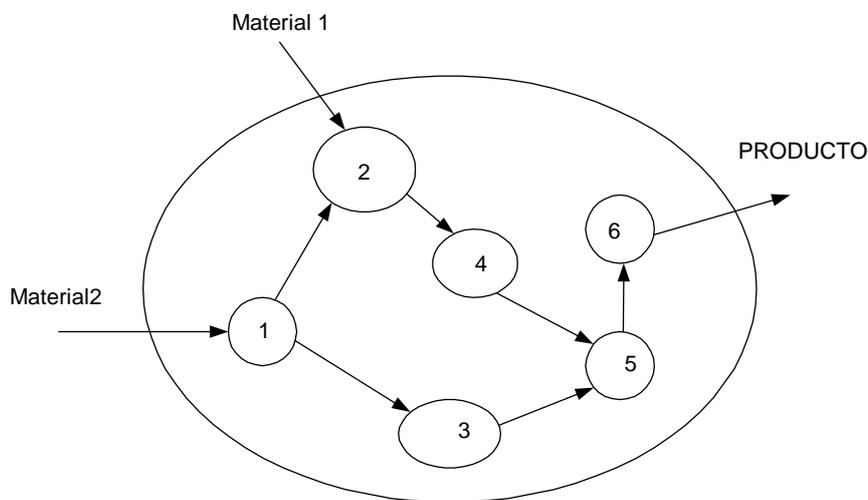
Utilizando proyectos Six Sigma se podrá eliminar los desperdicios de la restricción. Si la restricción es un proceso de manufactura, entonces los proyectos estarán asociados a la reducción de reprocesos y productos de baja calidad y al aumento de la velocidad de producción. Si la restricción está en el mercado, es decir, si se tiene mayor capacidad que la demanda, entonces los proyectos internos de Six Sigma se enfocarán en hacer tareas que hagan que el sistema ofrezca productos más atractivos.

Para el paso 3 de la metodología TOC, se establece subordinar los demás procesos al cuello de botella, es decir, que estos procesos tendrían que funcionar al ritmo que marca este cuello de botella porque se requiere que constantemente le llegue material para que trabaje y no se pierda *throughput* ya que el tiempo perdido en un cuello de botella es un tiempo perdido en todo el sistema y no se va a recuperar nunca. En este sentido, Lean Six Sigma podrá ser aplicado en otros procesos de tal forma que se controle la variabilidad de la salida de los procesos que sirven de entrada para el cuello de botella y además para que este no trabaje con material de baja calidad.

### Resumiendo:

El primer paso será identificar la restricción del sistema. En este ejemplo el sistema se presenta como un conjunto de seis procesos.

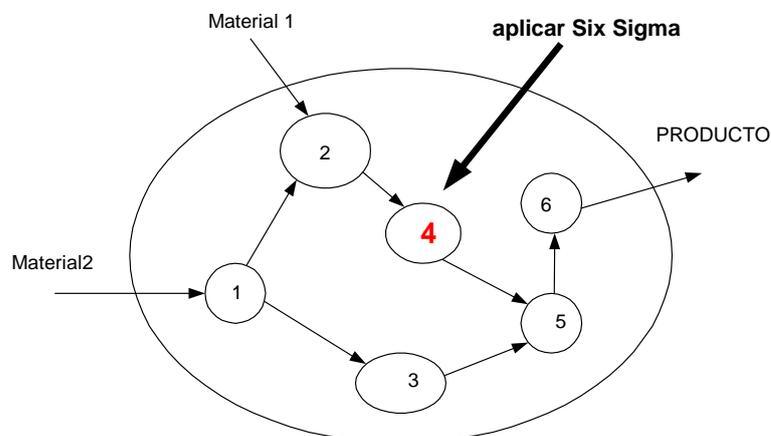
Figura N° 2.1



Fuente: Elaboración propia

Determinar una estrategia para explotar la restricción hasta su máxima capacidad:  
Una vez identificado el cuello de botella (proceso 4) se aplica Six Sigma para mejorar el proceso.

Figura N° 2.2

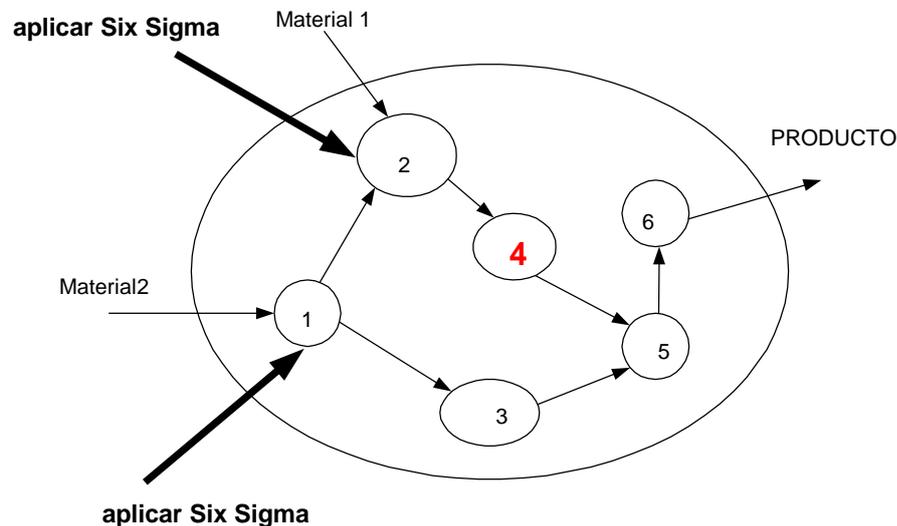


Fuente: Elaboración propia

Subordinar todas las acciones a la estrategia definida. (Eliminar políticas y actividades que limitan el *throughput* de la restricción).

Se aplicará Lean Six sigma en los demás procesos para entregar al cuello de botella suficiente material para que no se detenga y además se evitará que se entreguen con defectos para evitar los re-procesos.

**Figura 2.3**



Fuente: Elaboración propia

## 2.2. Metodología DMAIC

Al identificarse la restricción empleando Teoría de restricciones queda el aspecto de mejorar dicho proceso. Para ello se empleará la metodología DMAIC. A continuación se especifican las preguntas que deberán ser respondidas para poder ejecutar satisfactoriamente la metodología:

### DEFINIR

- ¿Qué procesos existen alrededor? ¿Quién o quiénes son los dueños (responsables) de estos procesos? ¿Qué personas interactúan en los procesos, directa e indirectamente? ¿Quiénes podrían ser parte de un equipo para cambiar el proceso?
- ¿Existe actualmente información del proceso? ¿Qué tipo de información se tiene? ¿Qué procesos tienen mayor prioridad de mejorarse?

### MEDIR

- ¿Se conocen las necesidades de los clientes? ¿Qué es crítico para el cliente derivado del proceso?
- ¿Cómo se desarrolla el proceso? ¿Cuáles son los pasos? ¿Qué tipo de pasos forman el proceso?
- ¿Cuáles son los parámetros de medición del proceso y cómo se relacionan con las necesidades del cliente? ¿Por qué se emplean esos parámetros?
- ¿Cómo se obtiene la información? ¿Qué tan exacto o preciso es el sistema de medición?

**ANALIZAR**

- ¿Cuáles son las especificaciones del cliente para los parámetros de medición? ¿Cómo se desempeña el proceso actual contra esos parámetros?
- ¿Cuáles son los objetivos de mejora de proceso? ¿Cómo se han definido?
- ¿Cuáles son las posibles fuentes de variación del proceso?
- ¿Cuáles de esas fuentes de variación se controlan y cuáles no? De las fuentes de variación que se controlan ¿Cómo se controlan y cuál es el método para documentarlas?

**MEJORAR**

- ¿Las fuentes de variación dependen de un proveedor?, Si es así, ¿Cuáles son?, ¿Quién es el proveedor? y, ¿Qué se está haciendo para monitorearlas y/o controlarlas?
- ¿Qué relación hay entre los parámetros de medición y las variables críticas? ¿Interactúan las variables críticas? ¿Cómo se han definido?
- ¿Qué ajustes a las variables son necesarios para optimizar el proceso?

**CONTROLAR**

- Para las variables ajustadas ¿Qué tan exacto o preciso es el sistema de medición?
- ¿Qué tanto se ha mejorado el proceso después de los cambios?
- ¿Cómo se hace para que los cambios se mantengan? ¿Cómo se monitorean los procesos?
- ¿Cuánto tiempo o dinero se ha ahorrado con los cambios? ¿Cómo se esta documentando?

En la siguiente tabla se presenta una tabla especificando qué herramientas se deben utilizar en cada paso de la metodología DMAIC.

**Tabla N°2.1** Herramientas empleadas en cada fase de DMAIC

Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Modelo de Aprendizaje	Mapeo de Procesos	Multivariantes	Diseño de Experimentos Variable	Experimentación Evolutiva de la Operación en Planta
Administración de Proyectos	Matriz Causa-Efecto	Correlación	Diseño de Experimentos Fraccionado	Superficies de Respuesta
Herramientas computacionales	Diagrama Causa-Efecto	Regresión	Diseño de Experimentos Completo y 2 Factorial	Regresión Múltiple
Estadística Descriptiva	Análisis Estadístico	Prueba de Hipótesis	Diseño de Experimentos Avanzado	Planes de Transición
	Herramientas de Apoyo	Análisis de Varianza (ANOVA)	Regresión Logística	Planes de Control
	Análisis del Sistema de Medición	Análisis de Modo de Efecto de Falla		Control Estadístico de Procesos
	Capacidad			Métodos de Control

Fuente: Wheat Barbara,(2003), Six Sigma

Finalmente Lean Six Sigma al ser una vivencia es para siempre, las personas asumen cualquier restricción con un nuevo pensamiento LEAN, y de esta forma serán presurosos en mejorarle y llevarle a niveles de clase mundial.

#### 4. Conclusiones

1. No es necesario estudiar todos los procesos de un sistema u organización, solamente es necesario detectar y definir cuál es el proceso que tiene mayor impacto en el sistema, negocio o empresa.
2. El TOC puede entrar a tallar cuando luego de definido el proceso de mayor impacto utilizando su metodología.
3. El Lean Six Sigma se puede aplicar para atacar la restricción principal a través de medios estadísticos
4. Es perfectamente viable la posibilidad de juntar las metodologías de la teoría de restricciones y six sigma y, adicionalmente, se puede completar con la metodología DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.
5. Desde el punto de vista gerencial, es importante conocer ambas teorías ya que se trata de optimizar el sistema ya existente en su empresa.

#### 5. Literatura Citada

**Brue G**, (2002) Six Sigma for Managers. McGraw-Hill Companies

**Domínguez Machuca JA**, (1995), Dirección de Operaciones: Aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios. McGraw-Hill Companies.

**Eckes G**, (2003) Six Sigma Para Todos. Wiley, John & Sons, Incorporated

**Goldratt E & Cox J**. (1993), La Meta. Ed. Castillo, México.

**Goldratt E**, (1995), La Carrera. Ed. Castillo, México.

**Goldratt E**, (1996) No fue la suerte. Ed. Castillo, México.

**Goldratt E**, (1997) La Cadena Crítica. North River Press, Estados Unidos.

**Goldratt E**, What Is This Thing Called Theory of Constraints and How Should It Be Implemented?, North River Press.

**Pande P**, (1998) What is Six Sigma? McGraw-Hill Companies.

**Rath and Strong's** Six Sigma Team Pocket Guide: How to Be an Effective Team Leader or Team Member. McGraw-Hill Companies.

**Wheat B**, (2003), Seis Sigma: Una Parábola sobre el camino hacia la excelencia y una empresa esbelta. McGraw-Hill Companies.

##### 5.1. Artículos de revistas

**Elliot R**, (2005)Quantifying Quality. Industrial Engineer. Norcross: April. Vol. 37; pg. 40 – 46.

**Godfrey MR & Brent Bandy D**, (2005)Applying Little's Law And the Theory of Constraints. ASQ Six Sigma Forum Magazine. Milwaukee: February. Vol.4, pg. 37-42

**Keller PA, Recent trends in Six Sigma. Quality Congress. ASQ's (2001)Annual Quality Congress Proceedings.** Milwaukee. pg. 103

**Lawrence DF, Patterson JW, [Lenhartz C](#), Bryant CM.** What should be changed?. Quality Progress. Milwaukee: January. Vol.35; pg. 50-60

**Nave D**, (2002)How to compare Six Sigma, lean and the theory of constraints. Quality Progress. Milwaukee: March.Vol.35; pg. 79

**Sood S**, (2002)Theory of constraints can change the way you manage your projects. [Electronic Engineering Times](#). Manhasset: August 5, pg. 40