

INTRODUCCIÓN A 6 SIGMA

Módulo 6

APUNTES DE CLASE

Profesor: Arturo Ruiz-Falcó Rojas

Madrid, Marzo 2009

ÍNDICE

1) <i>¿QUÉ ES SEIS SIGMA?</i>	5
1.1) ORÍGENES DE SEIS SIGMA?	5
1.2) ALGUNAS CIFRAS QUE HACEN PENSAR	6
1.3) ¿ES SEIS SIGMA UN BLUFF?	7
1.4) ¿EMPLEA SEIS SIGMA HERRAMIENTAS PROPIAS O MÉTODOS ESTADÍSTICOS NO CONVENCIONALES?	8
1.5) ¿ES COMPATIBLE SEIS SIGMA CON ISO 9000 Y EFQM?	9
1.6) SIMILITUDES Y DIFERENCIAS CON EL CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD	10
1.7) APLICACIÓN DEL MÉTODO CIENTÍFICO A LA MEJORA DE LA CALIDAD	13
1.8) ¿ES APLICABLE SEIS SIGMA A SERVICIOS?	17
2) <i>LA MÉTRICA SEIS SIGMA</i>	19
2.1) NIVEL SIGMA	19
2.2) COMPARACIONES DE MÉTRICAS SIGMA	22
2.3) ¿TIENE SENTIDO FIJARSE UN OBJETIVO TAN EXIGENTE COMO 3.4 PPM? 23	
2.4) ¿POR QUÉ EL DESPLAZAMIENTO DE LA MEDIA ES 1,5 σ?	24
2.5) ¿QUÉ TIPO DE DATOS DEBEN TOMARSE PARA ESTIMAR σ?	25
2.6) INFLUENCIA DE LA ASIMETRÍA DE LOS DATOS	27
2.7) ¿QUÉ PASA SI LA CARACTERÍSTICA DE CALIDAD NO ES CONTINUA? 30	
2.8) EJEMPLO DE MÉTRICAS SEIS SIGMA	32
2.8.1 PROCESO INDUSTRIAL	32
2.8.2 PROCESO DE SERVICIO	32

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

3) DESPLIEGUE DE SEIS SIGMA EN UNA ORGANIZACIÓN.....	35
3.1) LOS ACTORES DE SEIS SIGMA	35
3.2) USOS QUE UNA ORGANIZACIÓN PUEDE HACER DE UN PROGRAMA SEIS SIGMA	38
3.3) OPERATIVA DE UN PROGRAMA SEIS SIGMA?.....	39
3.3.1 EL PROGRAMA SEIS SIGMA	39
3.3.2 PROYECTOS DE MEJORA SEIS SIGMA.....	45
3.3.4.....	45
3.4) PLAN DE DESPLIEGUE TÍPICO	45
3.5) FORMACIÓN DE BB Y GB	47
3.6) ¿CUANTO TIEMPO CUESTA ALCANZAR UN NIVEL DE CALIDAD SEIS SIGMA?.....	48
4) SELECCIÓN DE PROYECTOS.....	51
4.1) INTRODUCCIÓN	51
4.2) ¿QUÉ ES UN "PROBLEMA"?	52
4.3) ¿CÓMO SE DETECTAN LOS PROBLEMAS?	52
4.4) ¿CUÁLES DE ESTOS PROBLEMAS DEBEN SER RESUELTOS MEDIANTE UN PROYECTO SEIS SIGMA?	54
4.5) ¿CÓMO SE DOCUMENTA UN CANDIDATO A PROYECTO SEIS SIGMA? EL PROJECT CHARTER.....	56
4.6) ¿CÓMO SE EVALÚAN LOS PROYECTOS SEIS SIGMA PARA FIJAR PRIORIDADES ENTRE ELLOS?	58
4.6.1 PLANTEAMIENTO GENERAL.....	58
4.6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PROYECTOS	59
4.6.3 PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS	61
4.6.4 ¿CÓMO SE ESTRUCTURAN LAS RESPONSABILIDADES DEL PROCESO DE DETECCIÓN DE PROBLEMAS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS SEIS SIGMA?	
61	
5) LOS PROYECTOS DE MEJORA DMAIC.....	65
6) INTRODUCCIÓN AL DFSS.	73

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

7) CONCLUSIONES	75
ANEXO I. ABREVIATURAS	76
ANEXO II. CONVERSIÓN DE FRACCIONES DEFECTUOSAS A NIVEL SIGMA	79
ANEXO III. FTY EN FUNCIÓN DEL NIVEL SIGMA Y NÚMERO DE COMPONENTES	81
ANEXO IV. HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN SEIS SIGMA	82
ANEXO V. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	84
ANEXO VI. PORTALES WEB Y LIBROS ELECTRÓNICOS RECOMENDADOS	85

1) ¿QUÉ ES SEIS SIGMA?

1.1) ORÍGENES DE SEIS SIGMA?

En 1988 **Motorola** alcanzó el prestigioso premio americano a la excelencia **Malcom Baldrige National Quality Award**. Una de las bases fundamentales de su estrategia de calidad fue el “**Programa Seis Sigma**”. Este programa lo diseñó y dirigió Bill Smith con el pleno apoyo del CEO Bob Galvin. El objetivo de este programa fue reducir la variación de los procesos hasta alcanzar una fracción defectuosa media de **3.4 ppm** (partes por millón, sí ha leído bien, 3.4 defectos por cada millón de oportunidades). Bill falleció en 1993 en pleno éxito de *Seis Sigma*.



Bill Smith
Father of Six Sigma

Esta reducción de la variabilidad se consiguió empleando métodos estadísticos (diseño de experimentos, ANOVA, regresión, gráficos de control, etc.) y también otras herramientas no estadísticas (AMFE, QFD, 7M) combinado con técnicas de gestión de procesos. La columna vertebral de esta estrategia gravitaba sobre expertos en la aplicación de estas herramientas, que se denominaron posteriormente “*black belts*”, es decir, “*cinturones negros*”, (probablemente fue una ironía para hacer frente a la competencia japonesa).

De la mano de Mikel Harry y Leonard Schroeder, *Seis Sigma* se extendió con éxito a otras grandes empresas, como **Allied Signal**, **Polaroid** y sobre todo, a la compañía presidida por el famosísimo Jack Welch, **General Electric**. Jack Welch se convirtió en el primer pregonero de las “maravillas” de *Seis Sigma*, hasta el punto de incluir en las memorias anuales algunos éxitos alcanzados por **GE** con *Seis Sigma* (evidentemente

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

cuantificados en dólares). El éxito en **General Electric** supuso el espaldarazo total a *Seis Sigma* y a partir de ahí empezó una mimetización por casi todas las grandes corporaciones norteamericanas. Naturalmente aquellas empresas que se limitaron a seguir “la moda” de manera frívola no alcanzaron los éxitos previstos, mientras que aquellas que entendieron y adaptaron las esencias de *Seis Sigma*, consiguieron mejoras en sus resultados de calidad y su posición competitiva.

Si bien no existe una definición de *Seis Sigma* con reconocimiento formal por parte de todos sus practicantes, Mikel Harry define *Seis Sigma* como “*un proceso de negocio que permite a las empresas mejorar tremendamente su cuenta de resultados mediante el diseño y seguimiento diario de las actividades cotidianas de manera que se minimice el desperdicio a la vez que se maximiza la satisfacción del cliente*”. Esta definición liga la finalidad del beneficio financiero, propio de una organización empresarial, con el medio para conseguirla (reducción del desperdicio y aumento de la satisfacción del cliente).

1.2) ALGUNAS CIFRAS QUE HACEN PENSAR

Mikel Harry facilita datos impactantes sobre los resultados de la aplicación de *Seis Sigma*. Entre ellos se encuentran unos resultados financieros espectaculares:

- 20% de mejora en el margen.
- 12 – 18% de mejora en la capacidad de producción.
- 12% de reducción en el número de empleados.
- 10 – 30% de reducción de necesidades de capital.

En relación con los *cinturones negros*, Mikel Harry proporciona los siguientes datos:

- Una organización necesita un *cinturón negro* por cada unidad de negocio o por cada 100 empleados.
- Pueden ahorrar unos 175,000 \$/año.
- Pueden abordar unos 5 proyectos /año.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

Estas cifras describen una especie de Eldorado. Si aplicamos al análisis de estos datos algunos de los principios de *Seis Sigma*, debemos cuestionarlos, ya que no está claro su origen ni cómo se han obtenido. Es obvio que las cifras de ahorro dependen de:

- El punto de partida. No es lo mismo una empresa que ya haya optimizado una buena parte de sus procesos, que otra que lo tenga todo por hacer.
- Lo bien que se hagan las cosas en *Seis Sigma*. La variabilidad está omnipresente y no todos los *cinturones negros* son igual de competentes.
- El modo de contabilizarlos. Los mismo resultados pueden contabilizarse de modo muy distinto.
- El número de *cinturones negros* que precisa una organización depende de la complejidad de la misma y de la complejidad de sus procesos. Por lo tanto, el tamaño no es la única cifra a tener en cuenta.

Por otra parte, en EE.UU. un curso de *cinturón negro* de cuatro semanas de duración cuesta unos \$12.000, a los que hay que añadir el coste de las licencias del software, desplazamientos, estancias, tiempo dedicado, etc. Naturalmente, de acuerdo con las cifras dadas anteriormente, el retorno de estos \$12.000 dólares sería inmediato. Analizando esto con seriedad surge la pregunta de si *Seis Sigma* no es más que un bluff para vender formación y consultoría.

1.3) ¿ES SEIS SIGMA UN BLUFF?

Antes de responder a esta pregunta, lancemos algunas preguntas más ¿Ha sido un bluff ISO 9000? ¿Está siendo un bluff el modelo de excelencia EFQM? Para responder a estas preguntas podemos basarnos en realidades objetivas que nos son familiares. Muchas organizaciones han hecho un buen uso de ISO 9000 y se han dotado de buenos sistemas de gestión de la calidad, lo que les ha ayudado a mejorar su posición competitiva. De la misma manera, muchas organizaciones han empleado bien el modelo

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

EFQM y les ha ayudado a mejorar sus sistemas de gestión y a detectar oportunidades de mejora. Sin embargo, otras organizaciones....en el mejor de los casos puede decirse que se han complicado la vida o han perdido el tiempo. Las causas de estos fracasos se deben indudablemente a directivos, consultores o auditores incompetentes, sin que se pueda responsabilizar de ello a ISO 9000 o EFQM.

Seis Sigma no tiene por qué ser distinto. De la misma manera que ha pasado en los EE.UU, algunas organizaciones lo emplearán bien y mejorarán su competitividad. Otras...perderán un nuevo tren y volverán a fracasar por causas parecidas a las expuestas anteriormente. La responsabilidad de este fracaso tampoco puede ser imputable a *Seis Sigma*. Sin embargo, *Seis Sigma* no debe entenderse como una receta mágica que garantice el éxito sin esfuerzo y talento. Inevitablemente en la oferta de consultoría aparecerán buitres que prometerán el éxito sin esfuerzo y directivos incompetentes que se lo creerán. Ningún gestor profesional medianamente inteligente debe dar crédito a tales promesas.

1.4) ¿EMPLEA SEIS SIGMA HERRAMIENTAS PROPIAS O MÉTODOS ESTADÍSTICOS NO CONVENCIONALES?

Seis Sigma **no** cuenta con herramientas propias ni ningún arma secreta desconocida para el resto de la humanidad:

- Ninguna de las herramientas de análisis estadístico es original de *Seis Sigma* (EDA, SPC, ANOVA, DOE, etc.). Estos métodos estadísticos han estado a disposición de las empresas desde hace 75 años. Sin embargo solo una minoría se han interesado por ellos y han sabido aplicarlos. Como ejemplo se citará el caso de la triste existencia del Comité de Métodos Estadísticos de la AEC. Este Comité se fundó en 1987 por un grupo de entusiastas. Sin embargo, la falta de interés de las empresas en participar en el mismo aconsejó disolverlo en 1992. Obsérvese el paralelismo de fechas con el desarrollo de *Seis Sigma* en **Motorola**.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- Tampoco las herramientas no estadísticas son originales de *Seis Sigma* (AMFE, QFD, Poka Yoke, etc.).
- Únicamente es original (y con reservas) ...la *métrica sigma* que se describirá más adelante.

En el anexo se incluye una tabla en la que se indican las principales herramientas empleadas habitualmente en *Seis Sigma*.

Seis Sigma incorpora una jerga propia que hace difícil el entendimiento por los no iniciados (SS, MBB, BB, GB, YB, DMAIC, DPU, DPMO, DPMO, FTY NIVEL SIGMA, SIPOC, etc.). No debe perderse de vista que la jerga no es lo esencial en ningún caso. Para facilitar la comprensión, se incluye un anexo en el que se aclaran los significados de las abreviaturas más usadas.

1.5) ¿ES COMPATIBLE SEIS SIGMA CON ISO 9000 Y EFQM?

No solo son compatibles sino que se refuerzan mutuamente. No tendría lógica aplicar un *Programa Seis Sigma* si no existiese un sistema de gestión de la calidad que sirviera de marco y aportara cosas tan necesarias como la existencia de procedimientos documentados, control de los registros de recogida de datos, instrumentos de medida calibrados, etc. Por otra parte, las evaluaciones EFQM detectan oportunidades de mejora a las que se pueden aplicar Proyectos de Mejora Seis Sigma, etc.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

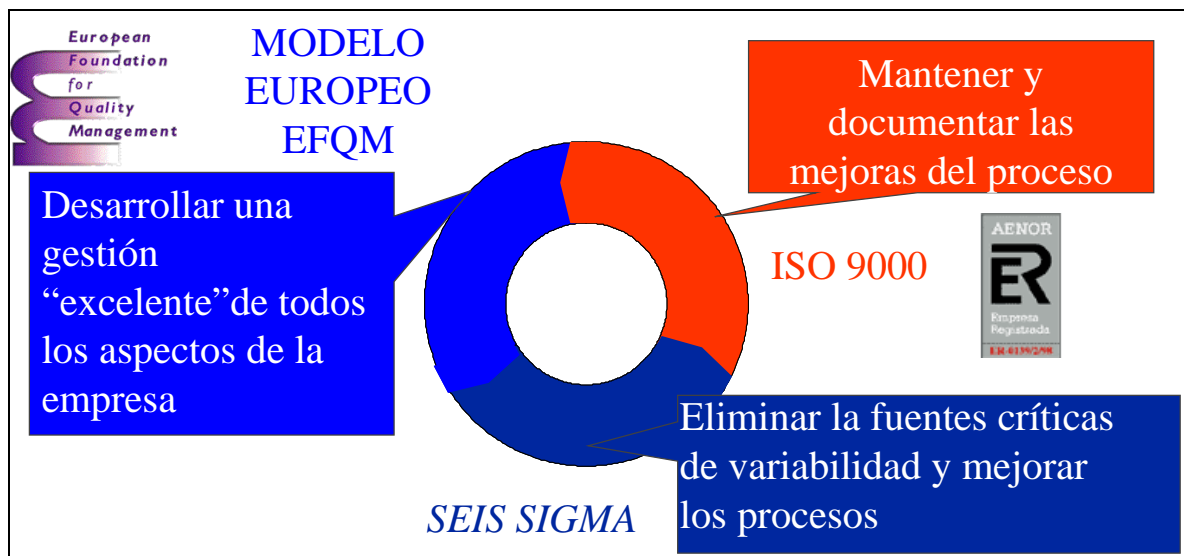


Figura 1: Relación con ISO 9000 y EFQM

1.6) SIMILITUDES Y DIFERENCIAS CON EL CONTROL TOTAL DE LA CALIDAD

La definición de *Seis Sigma* de Mikel Harry no se aleja demasiado de cualquiera de las existentes sobre *TQM*. Si además, *Seis Sigma* no aporta herramientas nuevas, ¿entonces *Seis Sigma* es algo nuevo o es lo mismo que *TQM*? Seguramente la pregunta no está bien planteada en esos términos. *TQM* en sí mismo es un concepto vago, hay muchos “*TQMs*”. Cada organización practicante de *TQM* ha hecho su propia versión.

La experiencia nos ha enseñado que la mayor parte de las iniciativas de *TQM* han acabado a la larga en fracaso. ¿Por qué fallaron estas iniciativas *TQM*? Pues...las causas más comunes han sido las siguientes:

- Frecuentemente emplean un concepto “nebuloso” de calidad, excelencia, etc, que no es gestionable. ¿Qué quiere decir “satisfacer al cliente” o “hacer las cosas bien a la

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

primera” si no está perfectamente claro qué es lo que espera el cliente o qué es lo que hay que hacer?

- No se relaciona con resultados financieros cada una de las actividades de mejora. Esto provoca que el programa *TQM* sea uno de los candidatos a desaparecer en la siguiente campaña de reducción de costes y gastos provocada por alguno de los vaivenes del mercado.
- Se dispersa en actividades en distintos procesos. Esto reduce la eficacia de los esfuerzos realizados y puede hacer que no se alcance ningún resultado práctico que justifique el mantenimiento del programa *TQM*.
- Falta real de asignación de recursos capacitados y entrenados a las actividades de mejora. Obviamente, la asignación de estos recursos supone un coste o una inversión. En general, es frecuente que se produzcan incoherencias entre el “*compromiso con la excelencia*” predicado por las direcciones de algunas organizaciones y los presupuestos que se aprueban para llevarlos a cabo.

***Seis Sigma* aporta una metodología que estructura el proyecto de mejora y da una solución a cada una de estas causas de fallo potencial.** Analicemos una por una las soluciones dadas:

- **¿Concepto “nebuloso”de calidad en *Seis Sigma*? ¡SEIS SIGMA REQUIERE OBJETIVAR Y MEDIR! ¡Estas métricas ligan la filosofía y la acción! Precisamente esta necesidad de objetivar y medir (es decir, tratar datos), hace imprescindible la aplicación de métodos estadísticos. El Credo de *Seis Sigma* requiere evitar discutir y tomar decisiones sobre “impresiones”. La objetivación estadística es la vía para tener una visión común. Esto enlaza plenamente con los pioneros Deming, Juran e Ishikawa y se aplica el viejo aforismo “*In God we trust...¡¡¡OTHERS MUST BRING DATA!!!*”, que ha sido una máxima entre los ingenieros de calidad expertos en métodos estadísticos.**

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- **¿No se relaciona con resultados financieros en *Seis Sigma*? ¿SEIS SIGMA ESTÁ ENFOCADO A LA CUENTA DE RESULTADOS!!** ¡Las cifras mandan... !
- **¿En *Seis Sigma* se dispersa en actividades en distintos procesos? ¿SEIS SIGMA SELECCIONA LOS PROYECTOS DE MEJORA PARA MEJORAR LA CUENTA DE RESULTADOS!** El norte es la mejora de la cuenta de resultados.
- **¿Falta real de asignación de recursos capacitados y entrenados a las actividades de mejora en *Seis Sigma*? ¿SEIS SIGMA TIENE DEFINIDA UNA ORGANIZACIÓN JERARQUIZADA PARA LLEVAR A CABO LAS ACTIVIDADES DE MEJORA!** Obviamente esta organización tiene un coste debido a la formación que precisa y la dedicación que requiere. En términos empresariales, es preciso rentabilizar este coste.



Figura 2: Lema de los practicantes de *Seis Sigma*

1.7) APLICACIÓN DEL MÉTODO CIENTÍFICO A LA MEJORA DE LA CALIDAD

Lo que no se puede medir...no se puede gestionar y por la tanto no se puede mejorar. Lord Kelvin formalizó la necesidad de medir un hecho científico para poder progresar en su conocimiento. ¿Qué tiene esto que ver con un ingeniero de calidad, un ingeniero de fiabilidad, un black belt, etc.? Pues más de lo que parece a primera vista. Un componente importante de su trabajo consiste en afrontar problemas como los siguientes:

- ¿Por qué la fracción defectuosa es tan alta? ¿Cómo se puede bajar?
- ¿Por qué este componente “funciona” y este no?
- ¿Cómo se puede conseguir disminuir la variabilidad de este proceso?
- ¿Cómo se puede modificar el proceso para disminuir el coste de los materiales empleados sin empeorar el resultado?
- ¿Cual es la velocidad óptima para..?
- Etc.

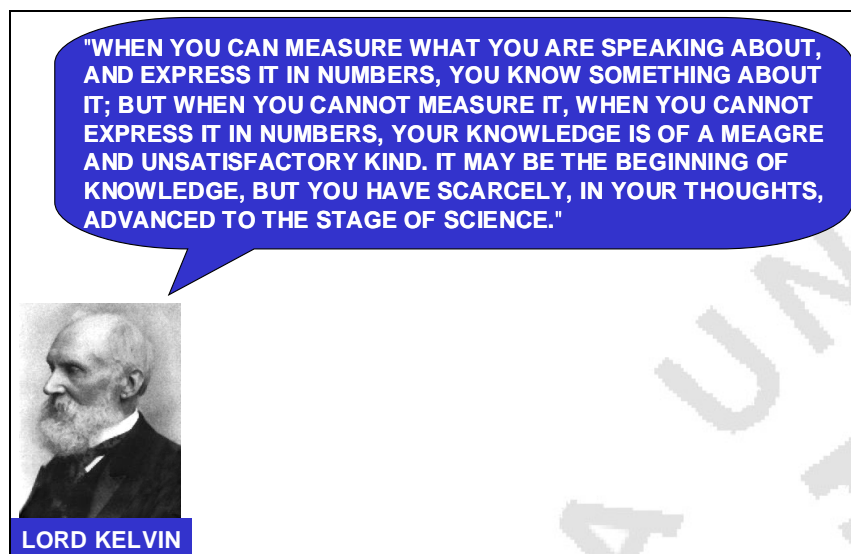


Figura 3: Lord Kelvin

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

Bajo el punto de vista conceptual, estos problemas son similares a la investigación científica por lo que parece lógico pensar que pueda aplicarse el método científico. En la Figura 4 se representa el diagrama de flujo de la aplicación del método científico.

Los modelos científicos que expliquen los fenómenos pueden ser:

◆ Modelos empíricos:

- ⇒ Describen la realidad.
- ⇒ Pueden realizar predicciones.
- ⇒ No explican por qué ocurre.
- ⇒ Ejemplos:
 - ✓ Calendarios aztecas, babilonios, etc.
 - ✓ Recetas de cocina.

◆ Modelos explicativos:

- ⇒ Además incluyen el fenómeno que produce la realidad observada.
- ⇒ Ejemplos:
 - ✓ •Astronomía a partir de Newton – Galileo – Copérnico, etc.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

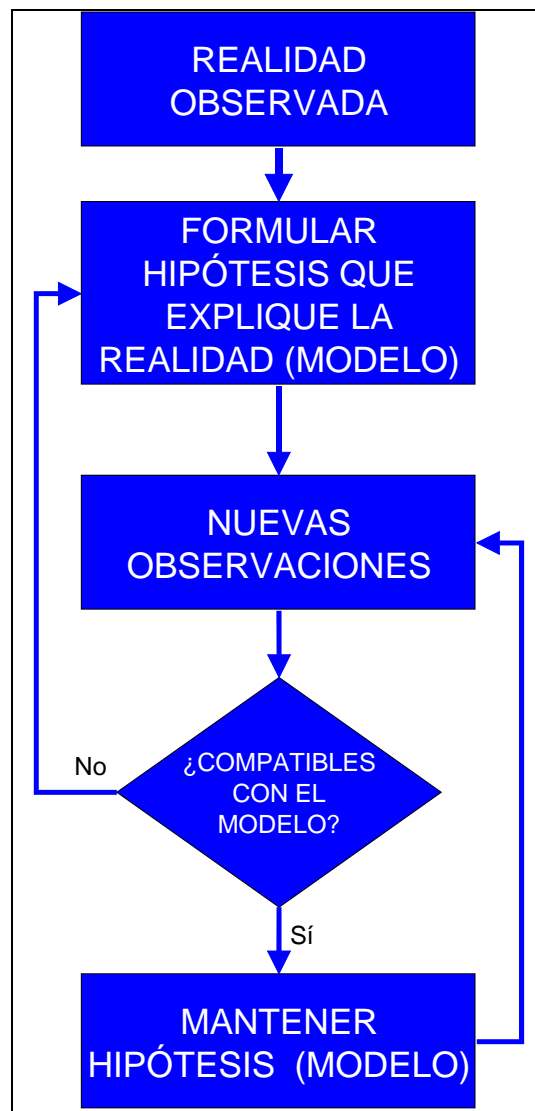


Figura 4: El conocimiento científico

En ingeniería de calidad y de fiabilidad se puede aplicar el método científico a la resolución de los problemas. Es decir, se busca el conocimiento empírico de una relación causa - efecto (modelo) que explique aspectos como el fallo, valor de la característica de calidad obtenida, etc. (fenómeno observado). Para ello se analizan datos observados, de la misma forma que hicieron los astrónomos para formular las

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

leyes de la mecánica celeste, y se contrasta la compatibilidad de los mismos con la relación causa - efecto propuesta. De la misma manera que la investigación científica actual no se limita a la mera observación de fenómenos y utiliza las técnicas experimentales para forzar y poner a prueba el modelo, en ingeniería de calidad y de fiabilidad también se hacemos uso de la experimentación que permita sacar conclusiones. Esta experimentación se puede apoyar en herramientas estadísticas que aumenten su eficacia (diseño estadístico de experimentos).

Seis Sigma se basa en la aplicación del método científico para:

- ◆ Proporcionar evidencias estadísticas (**datos**) de que la causa supuesta del “problema” es realmente la “causa del problema”.
- ◆ Idem en relación con la “solución del problema”.

En general, en *Seis Sigma* es suficiente con contar con modelos empíricos:

- ◆ Y Característica de calidad crítica para el cliente (CTQ)
- ◆ X_i : Parámetro que se puede controlar en el proceso y que es crítico para Y (CTP)
- ◆ El objetivo es optimizar CTQ:
 - ⇒ Mejor valor medio posible.
 - ⇒ Menor variabilidad.

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

$$\sigma = G(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Un buen Black Belt debe tratar de parecerse a un científico con la intuición y capacidad deductiva de un detective: Galileo y Sherlock Holmes.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

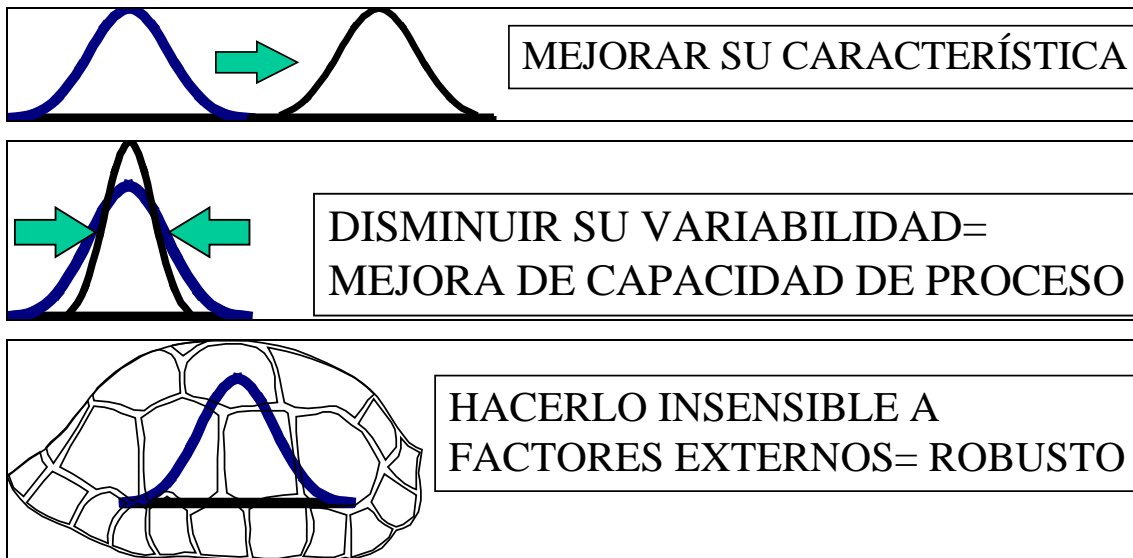


Figura 5: Posibilidades de mejora el proceso

1.8) ¿ES APLICABLE SEIS SIGMA A SERVICIOS?

Hasta ahora, la aplicación de la gestión de la calidad a las organizaciones de servicios ha ido muy por detrás con respecto a las empresas industriales. Incluso, en una empresa industrial, el grado de aplicación de la gestión de la calidad a los procesos de servicio ha sido mucho menor que en los procesos industriales. Incluso en alguna de estas últimas, las áreas de servicios administrativos son “*terra ignota para la calidad*”.

La calidad de la mayor parte de los procesos de servicio es muy difícil de medir y normalmente solo admiten métricas de tipo “*atributos*”, “*discretas*” o “*cualitativas*”. Esto ha hecho más difícil la introducción de los programas de mejora de calidad. Sin embargo y como se verá más adelante, empleando relaciones de estadística elemental, es posible convertir estas características de tipo discreto en *nivel sigma* (basta con leer la Tabla 1 de forma inversa). Por ejemplo, si la dirección de una empresa fija el objetivo a nivel corporativo de que sus procesos clave deben alcanzar un nivel “ 4.5σ ”, afecta por

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

igual a todos los procesos considerados clave, con independencia de que sean de fabricación o de servicio. **Esto es uno de los puntos fuertes de *Seis Sigma*.**

Algunos procesos de servicio son especialmente favorables para la aplicación de *Seis Sigma* porque generan muchos datos. Ejemplos típicos son los procesos bancarios, compañías de seguros, transporte, etc. A estos procesos se denominan *transaccionales* ya que su éxito dependen de que se realicen correctamente transacciones datos.

2) LA MÉTRICA SEIS SIGMA

2.1) NIVEL SIGMA

La metodología de mejora *Seis Sigma* requiere que la calidad se mida de una manera objetiva. En este aspecto no se diferencia de otros métodos de mejora preexistentes. Sin embargo, *Seis Sigma* aporta una métrica de medida originaria de MOTOROLA. Esta métrica es conceptualmente igual a los índices de capacidad de proceso c_p (para el nivel sigma a corto plazo) y c_{pk} (para el nivel sigma a largo plazo) que se utilizan en ingeniería de calidad desde hace décadas.

Sigma (σ) es la letra griega que se emplea para representar el parámetro que mide la variabilidad de una distribución estadística (desviación típica).

Sin entrar en detalles estadísticos que están aquí fuera de lugar, si el proceso sigue una función de distribución de probabilidad normal (nuestra vieja amiga la campana de Gauss) y el intervalo de tolerancia fuera igual a 12σ (seis desviaciones típicas a cada lado del valor nominal), entonces la fracción defectuosa de un proceso centrado sería 0.002 ppm. En este caso, se diría que el proceso tiene un nivel de calidad 6σ . Si la amplitud fuera de cinco desviaciones típicas, el nivel de calidad sería de 5σ , y así sucesivamente.

Naturalmente, en el mundo real los procesos no están estables con la media invariable en el valor nominal. Supongamos que el proceso derivara 1.5σ hacia alguno de los extremos. En este caso, la fracción defectuosa aumentaría hasta 3.4 ppm, que es el objetivo fijado en un *Programa Seis Sigma*. Este 1.5σ es indudablemente arbitrario y está relacionado con la capacidad de detección de la deriva de los procesos. La razón de por qué hay que considerar un desplazamiento precisamente de 1.5σ está muy

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

cuestionado por los distintos expertos. En opinión de este autor, es una discusión estéril. En la Figura 6 se pone de manifiesto el efecto del desplazamiento.

A través de la campana de Gauss, fijado un nivel sigma, es posible conocer la fracción defectuosa y a la inversa. Si no se considera el desplazamiento se denomina *nivel a corto plazo* (Z_{st}), ya que el proceso no puede operar totalmente centrado de manera indefinida; y si se considera el desplazamiento se denomina *nivel a largo plazo* (Z_{lt}). En la Tabla 1 se ha presentado la relación que existe entre el nivel sigma, la fracción defectuosa y lo que en terminología *Seis Sigma* se denomina FTY (First Time Yield, es decir la fracción de elementos fabricados “bien a la primera sin ningún defecto”). En esta tabla puede observarse que en la medida que se sube de nivel, resulta más difícil la siguiente etapa.

Cualquier practicante de SPC identificará rápidamente la relación que tiene el nivel de calidad sigma empleado en la metodología *Seis Sigma* con los índices tradicionales c_p y c_{pk}

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

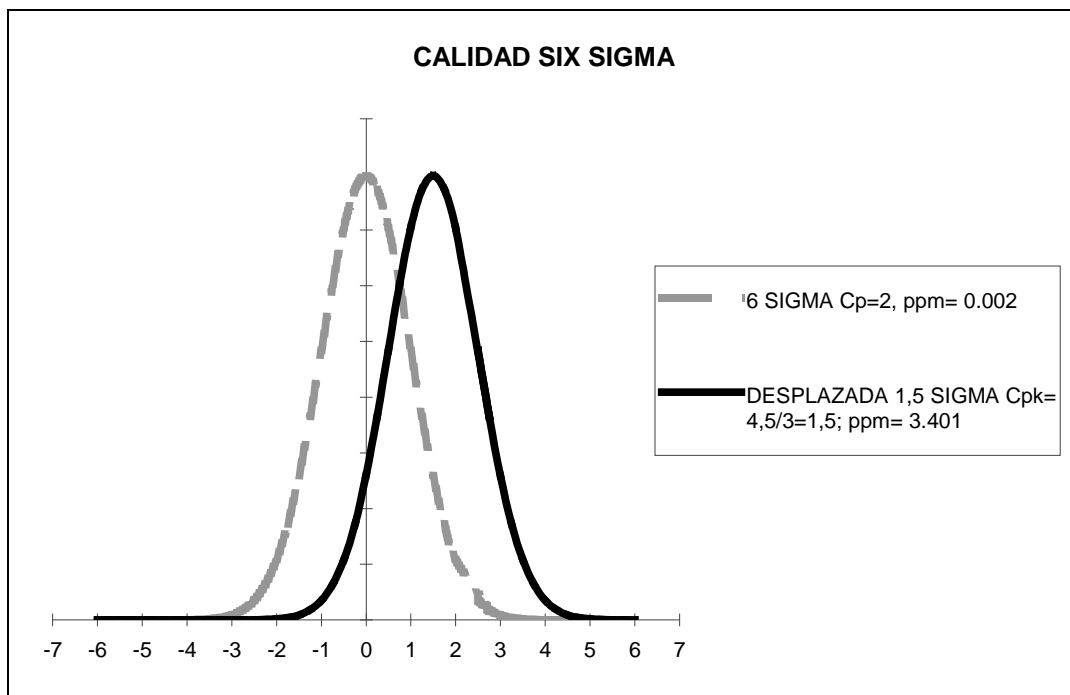


Figura 6: Efecto del desplazamiento en el nivel de calidad sigma

NIVEL SIGMA	CENTRADA	DESPLAZADA 1,5 SIGMA	CENTRADA	DESPLAZADA 1,5 SIGMA
	Frac. Defect. (ppm)	Frac. Defect. (ppm)	FTY	FTY
3	2,699.93	66,810.63	0.99730007	0.93318937
3.5	465.35	22,750.35	0.99953465	0.97724965
4	63.37	6,209.70	0.99993663	0.99379030
4.5	6.802	1,349.97	0.99999320	0.99865003
5	0.574	232.67	0.99999943	0.99976733
5.5	0.038	31.69	0.99999996	0.99996831
6	0.002	3.40	1.00000000	0.99999660

Tabla 1: Relación entre el nivel sigma, la fracción defectuosa y las unidades fabricadas libres de defectos a la primera (FTY)

2.2) COMPARACIONES DE MÉTRICAS SIGMA

¿Pero cuánto significa el nivel sigma en términos prácticos? Veamos algunos ejemplos:

NIVEL SIGMA	EN UN TEXTO...	EN TIEMPO...
3 σ	1,5 erratas por página	3,5 meses por siglo
4 σ	1 errata cada 30 páginas	2,5 días por siglo
5 σ	1 errata en una enciclopedia	30 minutos por siglo
6 σ	1 errata en una biblioteca pequeña	6 segundos por siglo

Tabla 2: Ejemplos de orden de magnitud para cada nivel sigma

Supongamos que se quiere limpiar una alfombra de 10 m². En la Figura 7 se ha representado la superficie sucia para cada nivel sigma.

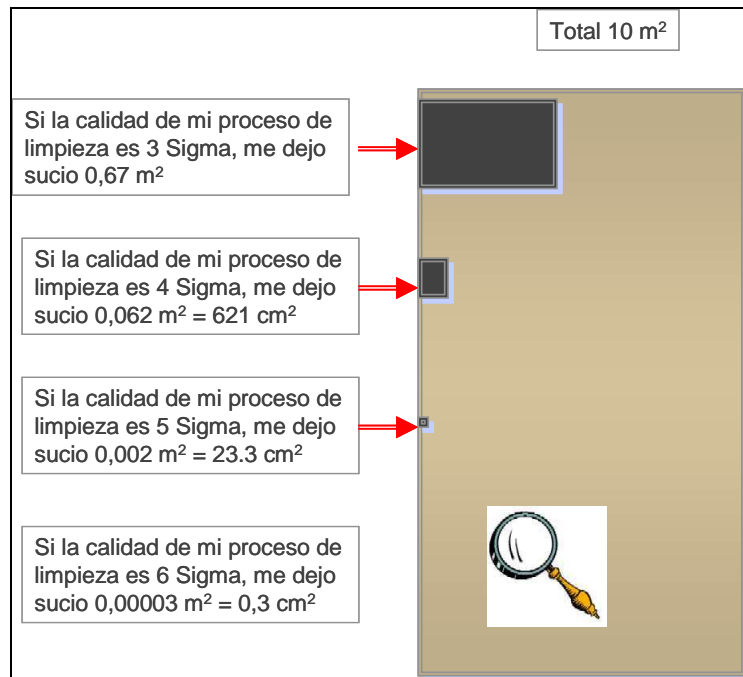


Figura 7: ¿Cuanto significa el nivel sigma?

2.3) ¿TIENE SENTIDO FIJARSE UN OBJETIVO TAN EXIGENTE COMO 3.4 PPM?

Aparentemente, 3.4 ppm parece un objetivo absolutamente desproporcionado y fuera del alcance de una empresa salvo que esté dispuesta a dilapidar recursos. Lo anterior tiene dos aspectos, el primero es la idoneidad del objetivo y el segundo si puede ser alcanzado de una manera rentable. Abordemos de momento el primer aspecto. En la Tabla 3 se representa el FTY en función del número de componentes que lo integran y del nivel sigma con el que han sido fabricados dichos componentes. Por ejemplo, si el elemento está compuesto por 100 componentes distintos, fabricados con 4σ , para que el elemento sea conforme deberán serlo sus 100 componentes, por lo que únicamente se fabricarán bien a la primera el 53.64%. Obviamente esta cifra está lejos de cualquier estándar competitivo, por lo que es necesario que los componentes se fabriquen con un nivel sigma mayor.

Es importante resaltar que este objetivo de 3.4 ppm se aplica a defectos en los procesos de fabricación, no a unidades finales.

En relación con el segundo aspecto, las empresas pioneras en *Seis Sigma* han demostrado que esto es posible. Por otra parte, este éxito no debe resultar sorprendente, ya que las herramientas empleadas van encaminadas a la prevención y sobre todo, a incrementar el conocimiento sobre los procesos y las necesidades de los clientes.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

	4 SIGMA	5 SIGMA	6 SIGMA
	ppm (1,5 SIGMA) 6.210	ppm (1,5 SIGMA) 232,7	ppm (1,5 SIGMA) 3,4
Número de componentes			
1	99,3790%	99,9767%	99,9997%
5	96,9335%	99,8837%	99,9983%
10	93,9610%	99,7676%	99,9966%
50	73,2382%	98,8432%	99,9830%
100	53,6383%	97,6999%	99,9660%
500	4,4399%	89,0163%	99,8301%
1000	0,1971%	79,2391%	99,6605%
5000	0,0000%	31,2390%	98,3140%

Tabla 3: FTY en función del nivel sigma

En la Tabla 4 se proporcionan algunos datos indicativos del coste de la calidad en función del nivel sigma.

NIVEL SIGMA	COSTE DE LA CALIDAD (% FACTURACIÓN)	OBSERVACIONES
3	25 – 40%	Baja competitividad
4	15 – 25 %	Situación típica
5	5 – 15%	Situación de buena competitividad
6	< 1%	Situación de excelencia

Tabla 4: Costes aproximados de Calidad en función del nivel sigma

2.4) ¿POR QUÉ EL DESPLAZAMIENTO DE LA MEDIA ES 1,5 σ ?

La razón por la que debe considerarse un desplazamiento de la media de exactamente 1,5 σ no tiene una justificación teórica clara. M. Harry, uno de los padres de *Seis Sigma* la justifica basándose en los trabajos sobre la asignación de tolerancias realizados por

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

A. Bender¹ y D. H. Evans². Por las fechas no puede decirse que estos trabajos sean excesivamente novedosos y recomiendan aplicar un coeficiente de 1,5 a la desviación típica del proceso calculada a corto plazo para tener en cuenta el efecto de los desplazamientos que pueda tener la media. Por lo tanto, este 1,5 no debe entenderse como una fórmula exacta sino más bien como un coeficiente de seguridad.

Es preciso reconocer que el hecho de que se haya fijado este coeficiente tiene algunas ventajas:

- Pone de manifiesto que los controles deben ser capaces de detectar derivas del proceso de 1.5σ . En la realidad esto no es tan sencillo; por ejemplo, la probabilidad de que un gráfico de medias con un tamaño de muestra de cinco unidades detecte esta deriva en la primera muestra es aproximadamente un 60% solamente.
- Facilita la comparación entre procesos, lo que no sería posible si se emplearan coeficientes diferentes.

2.5) ¿QUÉ TIPO DE DATOS DEBEN TOMARSE PARA ESTIMAR σ ?

Para estimar σ a corto plazo debe considerarse datos (piezas) entre los que solo puedan existir pequeñas variaciones aleatorias (*causas comunes*) y no puedan existir patrones de variabilidad no sistemáticos (*causas especiales*). En terminología habitual se dice que estas piezas deben proceder del mismo “*subgrupo homogéneo racional*”. Por ejemplo, supongamos un proceso de torneado del que se extraen 5 piezas cada hora. Los datos están representados en la Figura 8. A simple vista puede verse que la variabilidad total del proceso (variabilidad a largo plazo) es bastante mayor que la variabilidad del

¹ “Bendarizing Tolerances – A simple Practical Probability Method of Handling Tolerances for Limit.Stack-Ups”, Graphic Science, Diciembre de 1962.

² “Statistical Tolerancing.: The State of the Art, Part III: Shift and Drifts.” Journal of Quality Technology, Abril 1975.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

subgrupo homogéneo racional (variabilidad a corto plazo). Esto puede justificarse por el desgaste de la herramienta, cambios de lotes de materia prima, cambios de operario, fluctuación de temperaturas, etc.

Sin entrar en detalles, la variabilidad a corto plazo se corresponde con la variabilidad media de las diez muestras de cinco piezas (variabilidad dentro de cada muestra), mientras que la variabilidad a largo plazo debe incluir además la variabilidad entre las diez muestras, por lo que esta última es siempre mayor. El hecho de que la variabilidad a largo plazo sea siempre mayor que la variabilidad a corto plazo, hace que el nivel sigma a corto plazo sea mayor que el nivel correspondiente a largo plazo. En la Tabla 5 se sintetiza el proceso de conversión.

A	DE	
	NIVEL SIGMA CORTO PLAZO	NIVEL SIGMA LARGO PLAZO
NIVEL SIGMA CORTO PLAZO	=	+1,5
NIVEL SIGMA LARGO PLAZO	-1,5	=

Tabla 5: Procedimiento para hallar el nivel correspondiente

Como se ha dicho anteriormente, la métrica sigma tiene un gran paralelismo con los índices de capacidad de proceso. Para diferenciar si corresponden a variabilidades a corto o largo plazo, se denominan de diferente forma:

- ◆ C_p y C_{pk} se calculan con la variabilidad inherente del proceso (variabilidad en el corto plazo, nivel sigma a corto plazo).
- ◆ P_p y P_{pk} se calculan con la variabilidad total del proceso (variabilidad en el largo plazo, nivel sigma a largo plazo).

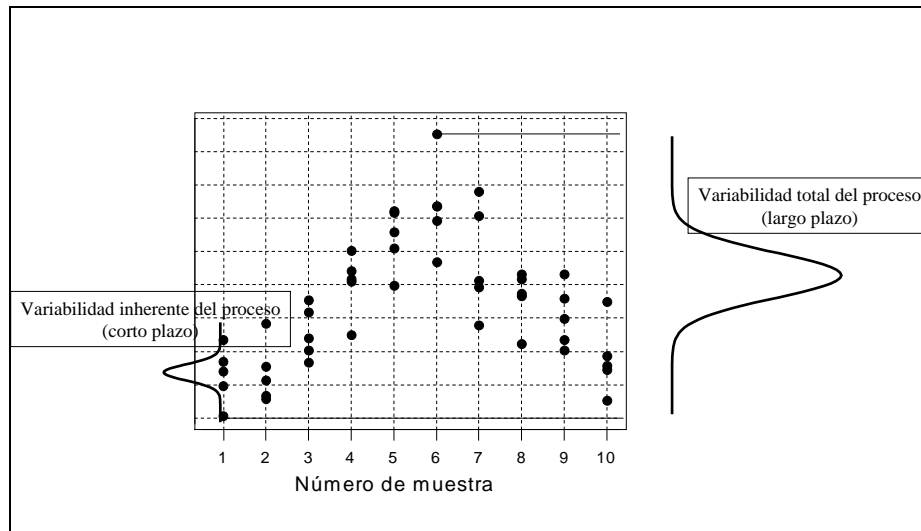


Figura 8: Diferencia entre la variabilidad a corto plazo y a largo plazo

2.6) INFLUENCIA DE LA ASIMETRÍA DE LOS DATOS

La métrica sigma presupone una distribución de datos normal. Consecuentemente está afectada por la falta de normalidad en general y la asimetría en particular. Es preciso tener en cuenta que no todos los procesos siguen una ley normal aún cuando se encuentren bajo control estadístico. Este es el caso de los procesos que tienen una barrera en alguno de los extremos de la variable. Por ejemplo, los procesos de protección superficial y de tiempos de espera (tanto el espesor como el tiempo de espera mínimo es cero y nunca pueden ser negativos), de taladrado (el diámetro del taladro mínimo es el de la broca), etc.

Supongamos que se está estudiando un proceso de protección superficial. El histograma de los datos del proceso se representa en la Figura 9. Este histograma indica claramente que el proceso no es capaz de alcanzar esas tolerancias y también la falta de normalidad de los datos. Con independencia del grado de interés que pueda tener el cálculo del nivel

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

sigma de un proceso tan deficiente, en este caso es erróneo aplicar la “*receta*” porque esta supone la distribución normal de los datos. Para resolver esta situación se puede aplicar una transformación de los datos que consiga su normalización (por ejemplo, la transformación de Box-Cox, que está disponible en la mayor parte de los paquetes estadísticos existentes en el mercado). El histograma de los datos transformados está representado en la Figura 10 y muestra un aspecto mucho más “*normal*” y consecuentemente ahora sí tiene sentido calcular el nivel sigma siguiendo el procedimiento habitual.

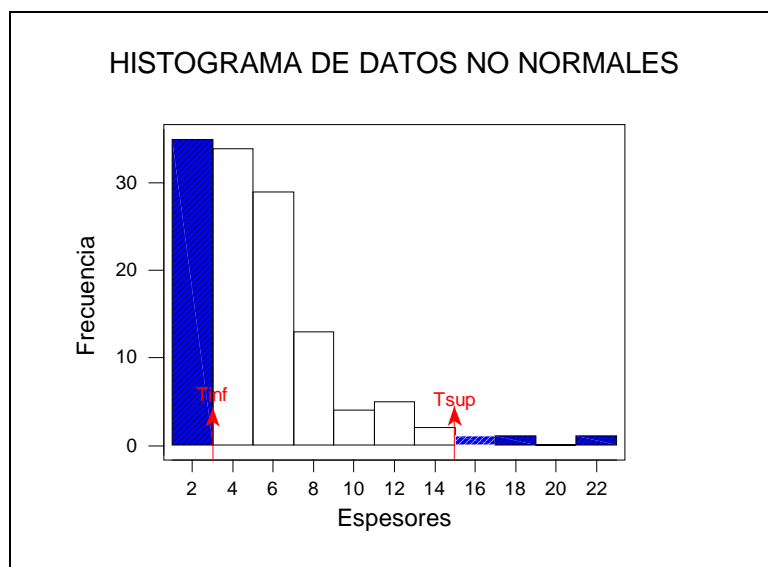


Figura 9: Histograma de los datos del proceso de protección superficial

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

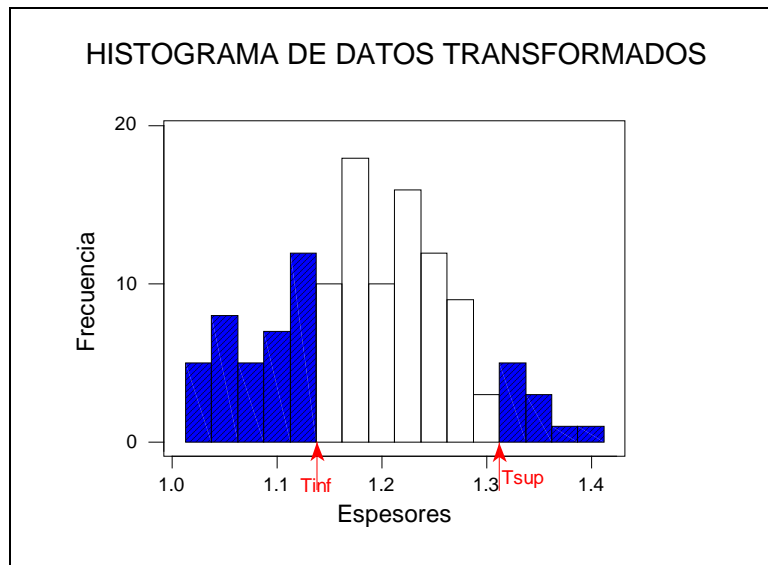


Figura 10: Histograma de los datos transformados del proceso de protección superficial

2.7) ¿QUÉ PASA SI LA CARACTERÍSTICA DE CALIDAD NO ES CONTINUA?

Si la característica no es de tipo continuo se emplea la Tabla 1 para pasar de fracciones defectuosas a nivel sigma. Esta tabla se obtiene de la propia definición del nivel sigma. Ahora bien, en general resulta muy aconsejable no limitarse a la simple clasificación de las piezas en “*conformes*” y “*no conformes*”, sino dar un paso más y contabilizar los defectos que se producen. Este enfoque permite una escala de medida más matizada y consecuentemente, más sensible.

Los pasos a dar son los siguientes:

- Definición de lo que se considera “*defecto*”. En algunos casos esto no resulta sencillo (por ejemplo, cuando se trate de inspección visual) y es posible que sea necesario contar con defectos patrón a disposición de los inspectores.
- En aquellos casos en los que se prevea un grado de subjetividad importante, debe hacerse un estudio R&R entre los inspectores que vayan a intervenir, de modo que se asegure que todos los inspectores emplean los mismos criterios.
- Calcular las “*oportunidades*” que presenta cada unidad fabricada para producir un defecto. Habitualmente se expresan en oportunidades / millón de piezas. Este es un punto muy importante, ya que si se eleva artificialmente el número de oportunidades de error, se eleva también el nivel sigma. En general **no deben considerarse aquellas oportunidades de errores que no se comprueban, que no se hayan presentado nunca o para las que se ya se haya implantado medidas preventivas para evitar su aparición.**
- Contar los defectos encontrados y dividirlo por el número de unidades inspeccionadas. En la jerga Seis Sigma, se denomina habitualmente DPU (Defects Per Unit).

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

$$dpu = \frac{\text{numero de defectos encontrados}}{\text{unidades inspeccionadas}}$$

- Dividir las DPU por las oportunidades de defecto que presenta cada unidad. En la jerga Seis Sigma, se denomina habitualmente DPO (Defects Per Opportunity) o DPMO (Defects Per Million of Opportunities).

$$dpmo = \frac{10^6 dpu}{\text{oportunidades de defecto / unidad}}$$

$$dpo = \frac{dpu}{\text{oportunidades de defecto / unidad}}$$

- Una vez calculado *dpmo*, se entraría en la Tabla 1. Dependiendo de si la cifra de *dpmo* corresponde a un periodo de tiempo que pueda ser considerado corto plazo (por ejemplo, un turno de producción) o largo plazo (por ejemplo, un mes de producción) se entraría por una columna u otra.

TIPO DE DEFECTO	0-5	6-10	11-15	16-20	TOTAL
Arañazos en el tablero	IIII	IIII	II		12
Falta cantonera	III				3
Color diferente	IIII				5
Patatas dobladas	II				2
Arañazos en estructura y patas	IIII	I			6

Figura 11: Ejemplo de cuenta de defectos

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

2.8) EJEMPLO DE MÉTRICAS SEIS SIGMA

2.8.1 Proceso industrial

Un proceso de inserción de componentes electrónicos en tarjetas de circuito impreso (PCB), tiene las siguientes características:

- ◆ 50 insertos por tarjeta
- ◆ 1 chip por inserto = 50 chip por tarjeta
- ◆ 8 soldaduras por chip = 400 soldaduras por tarjeta

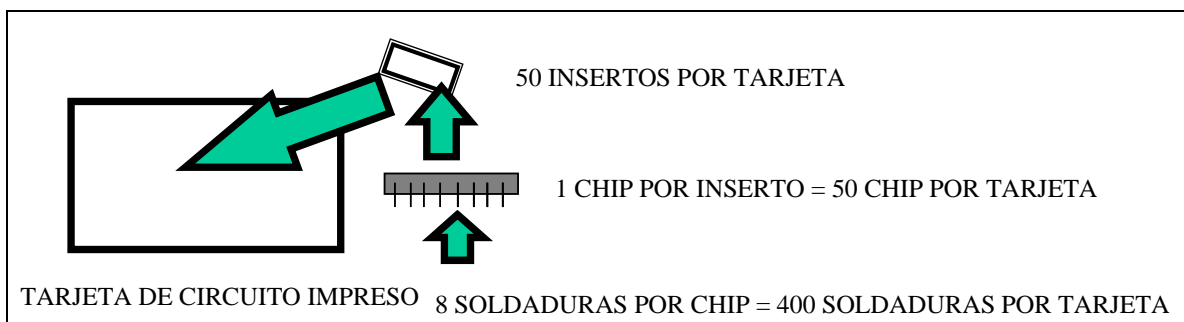


Figura 12: Métrica sigma del proceso de inserción de componentes en PCB

CLASIFICACIÓN DEFECTOS	UNIDADES	NÚMERO DEFECTOS	OPORT. / TARJETA	OPORT. / TOTALES	DEFECTOS	DPU	DPO	DPMO (ppm)	NIVEL SIGMA
CIRCUITO INTEGRADO DEFECTUOSO	1.000	5	50	50.000	5	0,0050	0,0001	100,0	5,2
INSERCIÓN DEFECTUOSA CI	1.000	25	50	50.000	25	0,0250	0,0005	500,0	4,8
SOLDADURA DEFECTUOSA (PATAS /CI)	1.000	20	400	400.000	20	0,0200	0,0001	50,0	5,4
TOTAL	1.000	50	500	500.000	50	0,0500	0,0001	0,0	5,2
Número de tarjetas	1.000								

Tabla 6: Cálculo del nivel sigma del proceso de inserción de componentes en tarjetas PCB

2.8.2 Proceso de servicio

Un proceso de emisión de nóminas de una empresa de 1.000 empleados. En cada nómina se pueden cometer errores en la introducción de los siguientes datos:

- Número de días de baja.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- Número de horas extras.
- Importe de la prima.

Es decir, hay tres oportunidades de error por cada nómina. Si los trabajadores perciben 14 pagas al año, el número de nóminas emitidas en un año es:

$$\text{Nóminas emitidas (unidades inspeccionadas)} = 14 \times 1.000 = 14.000$$

Si en el año se detectaron 30 reclamaciones de los trabajadores:

$$dpu = 30/14.000 = 0.002143 \text{ errores /nómina} = 2.143 \text{ errores / millón de nóminas}$$

las oportunidades de error por cada nómina son 3, luego las oportunidades totales son:

$$\text{Oportunidades de error} = 3 \times 14 \times 1.000 = 42.000 \text{ oportunidades}$$

luego:

$$dpo = 30/42.000 = 0,000714 \text{ errores /oportunidad}$$

$$dpmo = 10^6 \text{ dpo} = 714 \text{ errores / millón oportunidades}$$

Como el número de errores contabilizado corresponde a un periodo amplio de tiempo en el que han podido estar presentes múltiples causas de fallo, se asume largo plazo. Leyendo en la Tabla 1, se obtiene un nivel sigma de 4.7.

En un proyecto *Seis Sigma* esta métrica se utilizaría para ir evaluando las mejoras conseguidas en el proceso mientras que se estudiarían los datos para determinar las causas de error. Es decir, se investigaría si los errores están asociados a algún tipo de nómina o circunstancia asociada (por ejemplo, bajas por maternidad, ILT, etc.).

¿Pero qué ocurre si se cambia de criterio en cuanto al número de oportunidades de defecto por nómina incluyendo hipotéticos errores que no se han dado nunca? Supongamos que se consideran ahora 30 errores por nómina. El cálculo queda:

$$\text{Oportunidades de error} = 30 \times 14 \times 1.000 = 420.000 \text{ oportunidades}$$

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

$$dpo = 30/420.000 = 0,0000714 \text{ errores /oportunidad}$$

$$dpmo = 10^6 \text{ } dpo = 71,4 \text{ errores / millón oportunidades}$$

- ◆ ¡Fantástico! Se ha mejorado el proceso en más de medio sigma sin que aparentemente haya cambiado nada, pasando ahora a 5,3. Como se puede ver, todo esto se puede prestar a jugar con los números de una manera engañosa, lo que nos lleva una vez más a la conclusión de que las tendencias son mucho más importantes que los valores absolutos.

3) DESPLIEGUE DE SEIS SIGMA EN UNA ORGANIZACIÓN

3.1) LOS ACTORES DE SEIS SIGMA

La organización clásica de un *Programa Seis Sigma* en una empresa consta de los siguiente perfiles:

- **Champion (Campeón, Paladín, etc.).** Es el directivo responsable del programa. Supervisa y apadrina el *Programa Seis Sigma*. No tiene que ser un experto en herramientas estadísticas, es suficiente que conozca solo los fundamentos y las implicaciones. Sin embargo es esencial su reconocimiento por los otros directivos, autoridad y personalidad. Es responsable de la asignación de recursos al *Programa* y de la selección de los proyectos de mejora.
 - ⇒ Apoyo en liderazgo.
 - ⇒ Responsable de asegurar los recursos.
 - ⇒ Seguimiento económico.
- **Master Black Belt, MBB (maestro de cinturones negros).** Muy experto en herramientas de mejora. Es el mentor de los cinturones negros, les aconseja en la aplicación de las distintas técnicas, etc. Coordina los distintos proyectos de mejora.
 - ⇒ Apoyo en herramientas de mejora.
 - ⇒ Mentor de los black belt.
 - ⇒ Muy experto en métodos estadísticos en el contexto práctico de la realidad empresarial.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

⇒ Seguimiento, aprobación y cierre de los proyectos de mejora.

- **Black Belt, BB (cinturón negro).** Experto en herramientas de mejora asignado a un proyecto. No realiza actividades de “producción” y **está dedicado únicamente a los proyectos de mejora.** El *cinturón negro* apoya al propietario del proceso en la mejora del mismo y es el responsable del proyecto de mejora.

⇒ Dedicación 100% a los proyectos de mejora seis sigma.

⇒ Experto en métodos estadísticos en el contexto práctico de la realidad empresarial. Responsable de proyectos de mejora **Green Belt, GB (cinturón verde)**. Formado en herramientas básicas de mejora. Realiza actividades de “producción” y puede apoyar al *cinturón negro* en la recogida de datos, etc.

⇒ Menor experiencia y menor dominio de las herramientas estadísticas.

⇒ Responsable de proyectos de mejora de menor entidad.

⇒ Dedicación parcial.

- ◆ Miembros de los equipos de mejora:

⇒ Personal relacionado con el proceso.

⇒ Asignados temporalmente a los proyectos y a tiempo parcial.

El nombramiento para el desempeño de estos papeles va acompañado de un intenso programa de formación. A título de ejemplo, la formación de un *cinturón negro* consta de unas 160 horas, extendidas a lo largo de varios meses en los que se van realizando aplicaciones prácticas reales en proyectos de mejora de su empresa.

Junto con una buena formación, posiblemente otra de las causas que ha facilitado el éxito de *Seis Sigma* ha sido esta jerarquización de las responsabilidades de mejora.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

En la actualidad están apareciendo más cinturones (por ejemplo, *cinturones amarillos*) lo cual no está justificado en la mayor parte de los casos³.

Algunas organizaciones practicantes de *Seis Sigma* han optado por otras denominaciones que se adaptan mejor a su cultura de empresa; por ejemplo “*Cow boys*”, “*Green Berets*”, etc. En España esto podía llevar a denominarlos “*Matador*”, “*Pelotari*”, “*Cap de colla*”, etc., si bien nuestro tradicional sentido del ridículo seguramente impedirá que se llegue a estos extremos. Una vez más, la jerga no debe esconder las ideas que llevan detrás.



Figura 13 Los actores de Seis Sigma

³ En las artes marciales, los cinturones en orden creciente son blanco, amarillo, naranja, verde, azul, marrón y negro. A su vez, dentro de los cinturones negros existen diez categorías o “dan”.

3.2) USOS QUE UNA ORGANIZACIÓN PUEDE HACER DE UN PROGRAMA SEIS SIGMA

Una organización puede aplicar *Seis Sigma* de dos maneras diferentes. La primera de ellas, que podemos denominar “*táctica*”, consistiría en la aplicación de la metodología *Seis Sigma* a la mejora de los procesos clave que están dando problemas. De esta manera conseguiría una reducción de costes de calidad, reducción de reclamaciones de clientes, etc. Este enfoque es compatible con la estrategia de liderazgo en coste.

La segunda de ellas tiene un carácter “*estratégico*” para conseguir diferenciación y crear barreras a la competencia. Consistiría en la aplicación de la metodología *Seis Sigma* para conseguir un grado de dominio de los procesos que permita poner en el mercado productos o servicios con unas características muy superiores a las de la competencia y que sean apreciadas por el cliente. Ejemplos podrían ser conseguir plazos de entrega muy inferiores a la competencia, piezas con tolerancias más estrechas o características mecánicas superiores, etc.

Sin que sea posible generalizar a todos los casos, en general puede decirse que:

- Antes de lanzar un *Programa Seis Sigma* a toda la organización, puede ser conveniente hacer una prueba piloto de tipo “*táctica*” con algunos procesos.
- Para hacer una utilización “*táctica*” no es preciso contar con *cinturones negros* propios. Pueden ser colaboradores externos tanto para lanzar el programa como para el mantenimiento del mismo si no se desea cargar a la organización de costes fijos. En el caso de optar por un colaborador externo, es absolutamente clave seleccionarlo adecuadamente. Si se opta por formar personal, en este caso debe analizarse minuciosamente el programa de formación a seguir.

Para hacer una utilización “*estratégica*” es conveniente partir de un grado de dominio de los procesos similar al de la competencia. En general, en este caso el compromiso de la empresa con el *Programa Seis Sigma* es mayor y por lo tanto está plenamente justificado que los *cinturones negros* sean de plantilla. Si la organización no cuenta con

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

alguien que reúna los conocimientos suficientes para el perfil de *maestro de cinturones negros*, pueden optar por un colaborador externo. Análogamente al caso anterior, es absolutamente clave seleccionarlo adecuadamente.

3.3) OPERATIVA DE UN PROGRAMA SEIS SIGMA?

Es preciso distinguir dos aspectos diferenciados:

- La gestión del *Programa Seis Sigma* dentro de la organización.
- La gestión de los distintos *Proyectos de Mejora* que se lancen dentro del *Programa Seis Sigma*.

3.3.1 El Programa Seis Sigma

La responsabilidad de la gestión de *Programa Seis Sigma* recae sobre el *Champion* y habitualmente está apoyado por el *maestro de cinturones negros* y los *cinturones negros*. Es frecuente que se constituya un *Comité Seis Sigma* para pilotar este programa y que tenga las siguientes responsabilidades principales:

- Introducción del programa en la organización (sensibilización, formación, etc.).
- Asignación y mantenimiento del presupuesto.
- Definición de procesos clave y clientes objetivo (a alto nivel).
- Definición de las métricas de calidad y cuadro de mando (a alto nivel).
- Definición de las prioridades de mejora.
- Plan de comunicación. Es muy importante que los miembros de la organización conozcan la finalidad del *Programa Seis Sigma*, la importancia que le da la dirección y los resultados que se van consiguiendo. Esto puede hacerse a través de la intranet, revista o boletín de empresa, carta o correo electrónico personalizado, etc. Es muy habitual que los grupos de mejora (ver epígrafe 3.3.2) tengan paneles

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

informativos públicos (story boards) en los que se incluyan los resultados de las fases del proyecto.

- Lanzamiento de los proyectos de mejora:
 - Justificación del por qué se ha seleccionado este proyecto.
 - Definición objetivos del proyecto de mejora, plazos y condicionantes. Una característica de *Seis Sigma* es que esta cuantificación tenga un componente financiero, lo cual resulta de máxima utilidad para la dirección.
 - Asignación de equipos al proyecto.
 - Aprobación de cada una de las fases del proyecto.

Cierre del proyecto con el reconocimiento de los objetivos alcanzados (es decir, la cuantificación de la mejora).

En la Figura 15 se ha presentado un diagrama de procesos de un *Programa Seis Sigma*. En la Tabla 7 se incluyen fichas típicas de los procesos principales del *Programa Seis Sigma*

La mayor partes de las tareas requeridas por estos procesos se pueden gestionan a través de la herramienta informática *XML Process - Seis Sigma*, por lo que no representa una carga excesiva para la organización y permite disponer de una información de seguimiento actualizada.

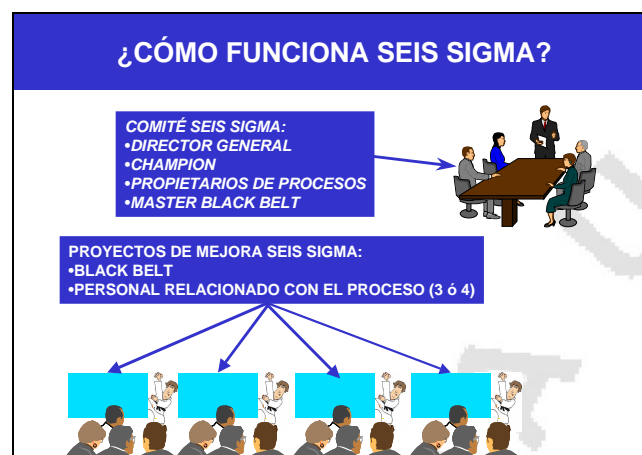


Figura 14: ¿Cómo funciona Seis Sigma?

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

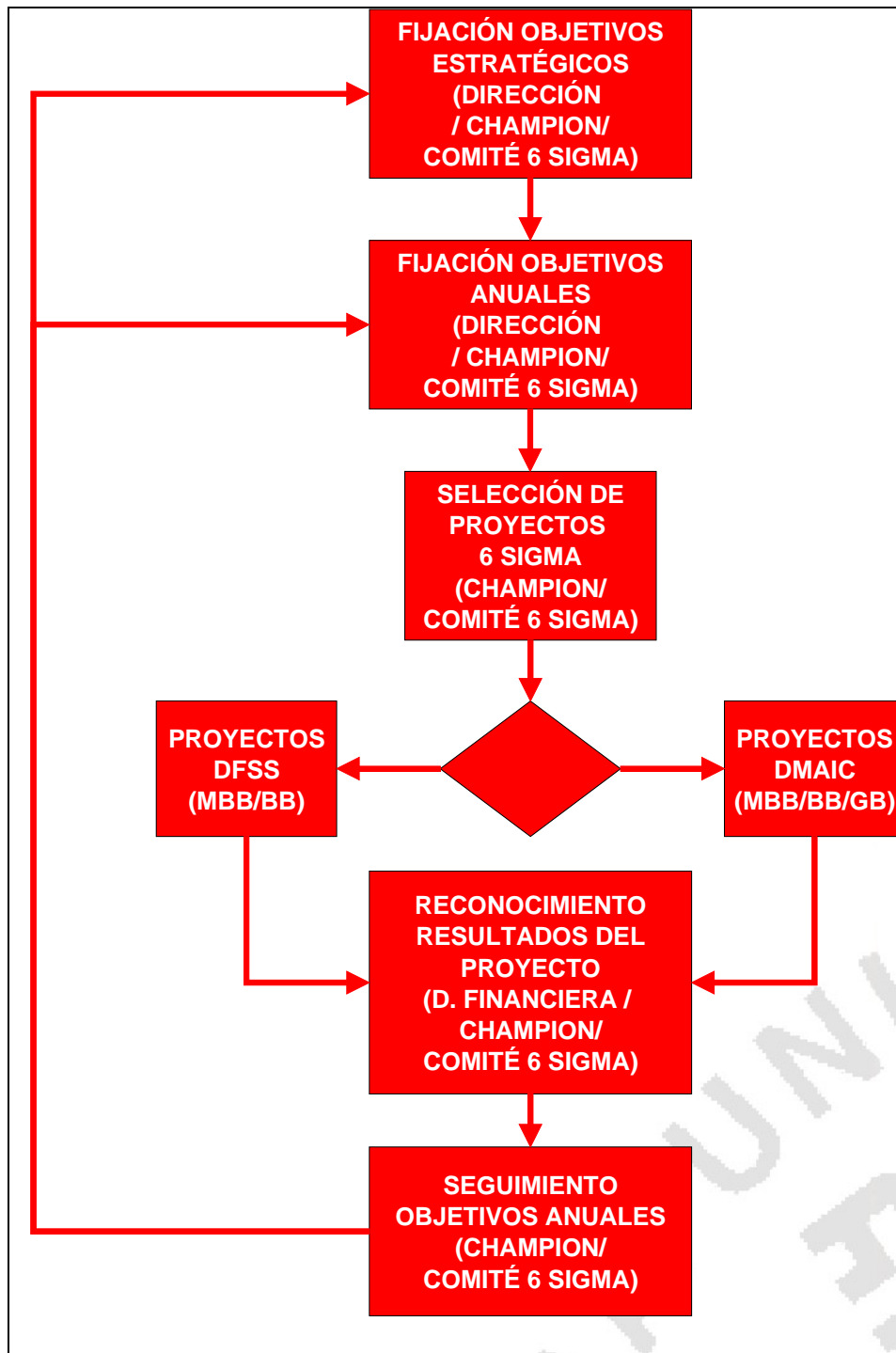


Figura 15 Diagrama de procesos de un Programa *Seis Sigma*

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

PROCESO	RESPONSABLES TÍPICO	INPUT	OUTPUT	INDICADORES TÍPICOS
FIJACIÓN OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	DIRECCIÓN / CHAMPION / COMITÉ 6 SIGMA	RESULTADOS PERIODOS ANTERIORES	ESTRATEGIA COMPETITIVA	INDICADORES PROPIOS DEL NEGOCIO (RENTABILIDAD, CUTOA DE MERCADO, ROI ETC.)
FIJACIÓN OBJETIVOS ANUALES	DIRECCIÓN / CHAMPION / COMITÉ 6 SIGMA	ESTRATEGIA COMPETITIVA	<ol style="list-style-type: none"> 1. MAPA DE PROCESOS PRINCIPALES. 2. DESPLIEGUE DE LA VOZ DEL CLIENTE (VOC->CTQ, CTC). REALIZADO A ALTO NIVEL. 3. MÉTRICAS DE LA ESTRATEGIA (CUADRO DE MANDO) Y OBJETIVOS A ALCANZAR 4. PRESUPUESTO DEL PROGRAMA 6 SIGMA 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FINANCIEROS. Ej. RENTABILIDAD AHORROS / COSTE PROGRAMA 6S. 2. CALIDAD EN LAS OPERACIONES: NIVELES SIGMA DE LOS PROCESOS PRINCIPALES. 3. CLIENTE: NIVELES DE SATISFACCIÓN DEL CLIENTE EXTERNO / INTERNO, PERSONAL, ETC.
SELECCIÓN DE PROYECTOS 6 SIGMA (ver epígrafe 4)	CHAMPION / COMITÉ 6 SIGMA	<ol style="list-style-type: none"> 1. MAPA DE PROCESOS PRINCIPALES. 2. DESPLIEGUE DE LA VOZ DEL CLIENTE (VOC->CTQ, CTC). REALIZADO A ALTO NIVEL. 3. MÉTRICAS DE LA ESTRATEGIA (CUADRO DE MANDO) Y OBJETIVOS A 	<ol style="list-style-type: none"> 1. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE MEJORA. 2. PROJECT CHARTER PRELIMINAR DE LOS PROYECTOS LANZADOS. 3. ASIGNACIÓN DEL MBB/BB/GB y EQUIPO AL PROYECTO. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. FRACASO: PROYECTOS CANCELADOS / PROYECTOS FINALIZADOS

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

PROCESO	RESPONSABLES TÍPICO	INPUT	OUTPUT	INDICADORES TÍPICOS
		ALCANZAR 4. PRESUPUESTO DEL PROGRAMA 6 SIGMA 5. OPORTUNIDADES DE MEJORA		
EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE MEJORA 6 SIGMA: (DMAIC O DFSS)	MBB/BB/GB	1. RESULTADO DE LA EVALUACIÓN DE LOS PROYECTOS DE MEJORA. 2. PROJECT CHARTER PRELIMINAR DE LOS PROYECTOS LANZADOS. 3. ASIGNACIÓN DEL MBB/BB/GB y EQUIPO AL PROYECTO.	INFORME FINAL DE LOS PROYECTOS: ♦ PROYECTOS DMAIC (ver epígrafe 5) ♦ PROYECTOS DFSS (ver epígrafe 6)	1. CUMPLIMIENTO FECHAS: FASES CERRADAS EN FECHA/ FASES TOTALES CERRADAS. 2. CUMPLIMIENTO OBJETIVOS ECONÓMICOS: OBJETIVOS ECONÓMICOS ALCANZADOS POR LOS PROYECTOS CERRADOS/ OBJETIVOS ECONÓMICOS ASIGNADOS A LOS PROYECTOS CERRADOS. 3. CUMPLIMIENTO OBJETIVOS NO ECONÓMICOS.
RECONOCIMIENTO DEL RESULTADO DE LOS PROYECTOS 6 SIGMA	D. FINANCIERA / CHAMPION / COMITÉ 6 SIGMA	INFORME FINAL DE LOS PROYECTOS	INFORME DE RECONOCIMIENTO DE RESULTADOS FINANCIEROS	EN GENERAL, NO RESULTA NECESARIO
SEGUIMIENTO DE	CHAMPION /	♦ INFORME FINAL DE LOS	INFORME / MEMORIA ANUAL.	EN GENERAL, NO RESULTA NECESARIO

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

PROCESO	RESPONSABLES TÍPICO	INPUT	OUTPUT	INDICADORES TÍPICOS
OBJETIVOS ANUALES	COMITÉ 6 SIGMA	PROYECTOS ♦ INFORME DE RECONOCIMIENTO DE RESULTADOS FINANCIEROS.		

Tabla 7: Ficha de los procesos típicos de un *Programa Seis Sigma*

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

3.3.2 Proyectos de Mejora Seis Sigma

Una vez que se ha seleccionado y aprobado un proyecto, se pasa al segundo aspecto relativo a la gestión de la realización del *Proyectos de Mejora Seis Sigma*. A cada uno de estos proyectos se asigna un grupo de trabajo. El responsable del equipo es habitualmente un *cinturón negro*, que está apoyado por personal del área del proyecto (expertos en los procesos afectados) y en algunos casos por un *cinturón verde* que le apoye en alguna tarea auxiliar.

Según sus objetivos, los *Proyectos de Mejora Seis Sigma* se pueden clasificar en proyectos de mejora de procesos (denominados **DMAIC**, ver epígrafe 5)) y proyectos para diseñar productos o servicios que alcancen niveles de calidad *Seis Sigma* (denominados **DFSS**, ver epígrafe 6)).

3.4) PLAN DE DESPLIEGUE TÍPICO

Tras el convencimiento de la Dirección y aprobación del lanzamiento del *Programa Seis Sigma*, un plan de despliegue típico estaría constituido por las actividades siguientes:

1. Nombramiento del Champion
 - a. Formación del Champion en Seis Sigma
 - b. Preparación del plan de implantación y del presupuesto de implantación
2. Constitución del Comité Seis Sigma.
3. Formación de la dirección en Seis Sigma (al menos a los miembros del Comité)
4. Definición de procesos y procedimientos (ver Figura 15). En organizaciones grandes es necesario documentar el proceso de mejora mediante procedimientos. En general es conveniente que estén integrados con los procedimientos existentes del sistema de gestión de la calidad. Los títulos podrían ser:

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- a. Seguimiento del programa *Seis Sigma*.
 - b. Selección de Proyectos de Mejora.
 - c. Gestión de Proyectos de mejora.
 - d. Cierre de proyectos. Este procedimiento debe incluir una instrucción para realizar la valoración y reconocimiento de las mejoras alcanzadas. Esta instrucción debe distinguir la contabilización del “*hard money*” (es decir, que afecte al flujo de caja), del “*soft money*” (no afecta al flujo de caja. Por ejemplo un ahorro en tiempo de utilización de una máquina en la fabricación de una pieza reduciría el coste estándar de esa pieza al repercutir en ella menos coste de máquina. Sin embargo, salvo que a esa máquina se le dé otra utilización aprovechando el aumento de capacidad creada, este ahorro no repercutiría en el flujo de caja).
5. Formación de la primera oleada de BB/GB
 6. Primeros Proyectos

	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PEDIDO																																								
1 CURSO CHAMPION																																								
2 CURSO CINTURON NEGRO																																								
3 ESTRUCTURACIÓN SEIS SIGMA EN LA ORGANIZACIÓN																																								
4 TUTORÍA CINTURONES NEGROS																																								

Tabla 8: Ejemplo de planificación en una empresa de tamaño medio

3.5) FORMACIÓN DE BB Y GB

Un aspecto particularmente costoso y difícil es la formación de BB. Un curso típico de BB consta de:

- ◆ Cuatro semanas completas (más de 120 horas de formación).
- ◆ Realización de un proyecto práctico de aplicación de estas técnicas con resultados positivos.

En la Tabla 9 se presenta un ejemplo de planificación de un curso de BB. Obsérvese que entre cada módulo de formación hay un intervalo de tres semanas para ir realizando el proyecto de mejora.

En <http://www.asq.org/certification/six-sigma/bok-07.html> puede consultarse el programa de conocimiento requerido por la ASQ para un BB y en <http://www.asq.org/certification/six-sigma-green-belt/bok.html> el correspondiente a un GB.

Los asistentes al curso deben contar con un ordenador dotado de un paquete estadístico (el más habitual es *MINITAB*), *MS Office* o equivalente. Es conveniente que cuenten con una buena herramienta para diagramar procesos (por ejemplo *iGraf Process*) y para realizar despliegues QFD (por ejemplo *QUALICA*). Este software será fundamental para desarrollar el trabajo de BB de un modo eficiente.

Para conseguir llevar casos reales al curso, es muy útil contar con herramientas de simulación de procesos que permitan que el asistente se enfrente a casos reales donde pueda aplicar las técnicas y herramientas aprendidas. Entre estas herramientas destacan *SimDoe* y *SimSPC* desarrolladas por ATISAE.

Para que los asistentes puedan seguir el curso con aprovechamiento y que puedan desempeñar posteriormente el papel de BB con competencia, han de reunir el siguiente perfil:

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- ◆ Es preciso que manejen con soltura las funciones matemáticas básicas. Deseable ingeniero técnico / ingeniero superior / licenciado en ciencias / licenciado en económicas o empresariales.
- ◆ Familiaridad con el manejo de programas informáticos en entorno Windows.
- ◆ Perspicacia, capacidad analítica y de razonamiento deductivo.
- ◆ Personalidad y capacidad de liderazgo que le permitan dirigir grupos de mejora.

	SEMANA																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Módulo 1																	
Módulo 2																	
Módulo 3																	
Módulo 4																	
Test comprobación conocimientos																	
Definición del proyecto práctico de mejora																	
Realización proyecto práctico de mejora																	
Presentación y evaluación Proyecto																	

Tabla 9: Ejemplo de planificación de un curso BB

3.6) ¿CUANTO TIEMPO CUESTA ALCANZAR UN NIVEL DE CALIDAD SEIS SIGMA?

A esta pregunta no se puede responder de una manera concluyente. En la Figura 16 se representan los tiempos que habitualmente se consideran necesarios para progresar. Por ejemplo, para progresar de 3σ a 4σ se precisa una año; para progresar de 4σ a 5σ se

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

precisa algo más de un año. A partir de 5σ aproximadamente aparece un muro que hace muy difícil el progreso.

Esta figura debe interpretarse con precaución y tomarse a título meramente orientativo. La esencia de la misma es que tras unos primeros progresos (que se denomina habitualmente “*la recogida de la fruta de las ramas bajas*”, que pueden conseguirse con poco más que aplicar el sentido común), a partir de un punto (cuya situación puede variar según los criterios seguidos en la cuantificación del nivel sigma) la dificultad se incrementa exponencialmente y resulta imprescindible la aplicación de personal preparado en la aplicación de herramientas más sofisticadas (DOE, etc.). Con la aplicación de estas herramientas puede rediseñarse el producto o el proceso de manera que se pueda continuar con la mejora.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA



Figura 16: Tiempos considerados normales de transición entre niveles sigma

4) SELECCIÓN DE PROYECTOS

4.1) INTRODUCCIÓN

Seis Sigma no solo debe establecer pautas sobre *cómo mejorar*, sino que también debe establecer *qué hay que mejorar*. Esto supone que se deben implantar mecanismos para:

- a) Detectar las oportunidades de mejora, es decir los "*problemas*" que tiene la organización.
- b) Seleccionar aquellas oportunidades de mejora que se consideren prioritarias.

En general, la detección de las oportunidades de mejora es el aspecto más fácil, ya que a las organizaciones lo que les sobran son "*problemas*" y lo que les faltan son recursos y tiempo para resolverlos.

Por esta razón, un despliegue eficaz de *Seis Sigma* no debe limitarse únicamente a ser una suma de herramientas, estructura organizativa y personas con cinturones de diversos colores que permitan definir e implantar soluciones a los problemas a los que se enfrenta la organización. Debe de ser algo más, ya que debe ser capaz de definir cuáles son los problemas que deben ser resueltos por la organización y qué prioridades tienen entre sí. Esto supone que un despliegue eficaz de *Seis Sigma* dé respuesta a las siguientes cuestiones:

- ◆ ¿Qué es un *problema*?
- ◆ ¿Cómo se detectan los *problemas*?
- ◆ ¿Cuáles de estos problemas deben ser resueltos mediante un *Proyecto Seis Sigma*?
- ◆ ¿Cómo se documenta un candidato a *Proyecto Seis Sigma*?
- ◆ ¿Cómo se evalúan los *Proyectos Seis Sigma* para fijar prioridades entre ellos?
- ◆ ¿Cómo se estructuran las responsabilidades del proceso de detección de *problemas* y evaluación de *Proyectos Seis Sigma*?

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

En los epígrafes siguientes se responderá a estas preguntas.

4.2) ¿QUÉ ES UN "PROBLEMA"?

Para una organización un *problema* es todo aquello que le impide alcanzar sus fines. Es decir, que mientras la organización no resuelva ese *problema* no alcanzará sus fines. Como consecuencia de la definición dada, para que una organización tenga *problemas*, primero ha de tener unos fines (objetivos). Esto relativiza el concepto de problema. Algo que puede ser un *problema* muy importante para una organización (por ejemplo, la reducción de plazos de entrega), puede no tener ninguna importancia para otra organización o incluso para la misma organización si cambia su estrategia competitiva y consecuentemente los objetivos a alcanzar.

Lo anterior no quiere decir que una organización sin objetivos no pueda resolver *problemas*. Naturalmente que sí. Lo que ocurre es que es muy posible que los *problemas* que resuelva no sean sus verdaderos *problemas* y que por tanto esté perdiendo el tiempo y dilapidando recursos. Una vez más retoman actualidad los escritos de Séneca, *De Constantia Sapientis*, que nos decía que a un barco que no sabe adonde va cualquier viento le viene bien.

4.3) ¿CÓMO SE DETECTAN LOS PROBLEMAS?

Seis Sigma se caracteriza por basarse en datos. En metodología *Seis Sigma*, los datos son como el estetoscopio en la medicina. Se trata de auscultar a la organización para ver qué datos produce y cómo se pueden interpretar. Las fuentes de información típicas para proponer proyectos de mejora se pueden clasificar en:

- ◆ Fuentes de información externas: Este tipo de fuentes permite responder a preguntas como "¿en qué estamos fallando o vamos a fallar en la satisfacción de las necesidades del cliente?, ¿estamos preparados para adaptarnos a la evolución del

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

mercado? ¿cuáles son las necesidades futuras de nuestros clientes?". Por su naturaleza pueden ser:

⇒ **Reactivas:** Son las más convencionales ¿Cuántas reclamaciones estamos teniendo de nuestros clientes? ¿Por qué se quejan? ¿Qué dicen las encuestas de satisfacción? Etc.

⇒ **Proactivas:** ¿Qué características requiere el cliente al producto o servicio que pudieran diferenciarlo de la competencia? En terminología *Seis Sigma* se dice escuchar la VOC (Voice Of the Customer) y la VOM (Voice Of the Market).

- ◆ **Fuentes de información internas:** Este tipo de fuentes permite responder a preguntas como "¿cuales son los mayores retrasos que ralentizan nuestros procesos?, ¿dónde hay un volumen elevado de defectos y o trabajos repetidos? ¿dónde se incrementan los costes de mala calidad?, ¿qué preocupaciones o ideas aportan el personal o los directivos? En terminología *Seis Sigma* se clasifican en VOP y VOE.

⇒ **¿Qué dicen nuestros procesos?** ¿Qué datos generan nuestros procesos? ¿Qué variabilidad tienen? ¿Tienen un nivel sigma adecuado para la importancia y responsabilidad de ese proceso? ¿Si se mejora el proceso podría dar lugar a un producto más diferenciado? En terminología *Seis Sigma* se dice escuchar la VOP (Voice Of the Process). Esto puede realizarse tomando datos de producción o de estudios de capacidad de proceso.

⇒ **¿Qué dicen las personas que están en los procesos?** Obviamente estas personas pueden aportar datos, puntos de vista y opiniones muy interesantes sobre los problemas que les impiden alcanzar mejores niveles de calidad (es decir menor variabilidad en los procesos y menor número de no conformidades). En terminología *Seis Sigma* se dice escuchar la VOE (Voice Of the Employee). Esto puede realizarse mediante encuestas a empleados, focus groups de empleados, etc.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- ◆ Fuentes de información internas/externas: En este grupo se suelen incluir las informaciones obtenidas del análisis realizado para identificar las barreras existentes para alcanzar los objetivos o desplegar las estrategias. Se dará respuesta a cuestiones como: ¿cuáles son las barreras entre nosotros y nuestros objetivos estratégicos? ¿qué nuevas adquisiciones necesitamos integrar que sean rentables y se puedan alinear con la imagen de mercado que queremos tener?

4.4) ¿CUÁLES DE ESTOS PROBLEMAS DEBEN SER RESUELTOS MEDIANTE UN PROYECTO SEIS SIGMA?

La solución de "todos" los *problemas* de la organización no tiene por qué hacerse mediante *Proyectos Seis Sigma*. Veamos a continuación algunos criterios que deben cumplir los *problemas* para que deba considerarse la posibilidad de iniciar un *Proyecto Seis Sigma*:

1. **Debe existir una clara diferencia entre la situación actual y la que se pretende alcanzar.** Si no fuera así, la aportación de este proyecto a los resultados de la organización sería muy pequeña, difícil de detectar y supondría un derroche de recursos escasos (tiempo dedicado por los cinturones negros).
2. **No se debe conocer la causa del problema de una manera inequívoca.** La metodología típica de los *Proyectos Seis Sigma* es muy rigurosa y exhaustiva. Aplica el *método científico* para demostrar cuál es la causa del problema y para probar que la solución dada lo resuelve. ¿Qué interés tiene esto ante *problemas* evidentes de los que todo el mundo sabe cuál es la solución? Es preciso resaltar que hay ocasiones en las que la solución que parece evidente... no es la solución. ¿Entonces cómo diferenciar un caso de otro? Lamentablemente no se puede dar un criterio y la respuesta la da la madurez.
3. **La solución no está prefijada de antemano.** En algunas ocasiones, la organización tiene una libertad muy reducida para aplicar una solución e incluso

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

hay una única solución posible por motivos de legislación, política de empresa, imposiciones externas, etc. ¿Qué sentido tiene en estos casos emplear recursos en identificar otra solución mejor que no se va a poder poner en práctica?

4. **Debe ser un problema "importante"**. Se deben abordar únicamente problemas que son importantes en la organización. Es preciso no perder de vista que la gestión de un *Proyecto Seis Sigma* consume recursos (tiempo de personas "clave").
5. **Debe ser factible**. El proyecto debe ser abordable y concreto, con un tamaño adecuado que permita desarrollarlo por un pequeño equipo. No se deben acometer proyectos que sean generalistas (es decir, definidos de un modo muy vago) y muy ambiciosos para los plazos y medios disponibles. En este último caso debe dividirse en proyectos más pequeños.
6. **Debe llevar a resultados cuantificables**. Los resultados que se obtengan del proyecto deben ser medibles, cuantificables y con un impacto importante en la organización.
7. **Huir de fracasos previos**. Los proyectos fracasados no son buenos candidatos a ser un *Proyecto Seis Sigma* por las "cicatrices" que hayan podido dejar en la organización. En particular, debe evitarse este tipo de proyectos hasta que el *Programa Seis Sigma* esté bien asentado.
8. **Los procesos afectados deben generar datos**. Si el proyecto se plantea sobre un proceso que no permite la obtención de datos o que no puede haber medición sobre él, no podrá ser un *Proyecto Seis Sigma*. Si el *Cinturón Negro* no puede obtener datos válidos, es dudoso que los datos ayuden a tomar las decisiones.

Consecuentemente, si no se cumplen las condiciones anteriores no se debe seleccionar ese problema para un *Proyecto Seis Sigma*.

Un error bastante frecuente es tratar de solucionar mediante un proyecto *Seis Sigma*, problemas de poca entidad (de solución evidente). En este caso, deben darse enfoques más inmediatos (en algunas empresas los denominan "*Just Do It*", "*Kaizen Blitz*", etc.

4.5) ¿CÓMO SE DOCUMENTA UN CANDIDATO A PROYECTO SEIS SIGMA? EL PROJECT CHARTER

Para que un *Proyecto Seis Sigma* que dé solución a un *problema* pueda evaluarse es preciso que se documente incluyendo una cierta información mínima. Obviamente es muy conveniente que esto se realice de una manera estandarizada. En terminología *Seis Sigma* se dice que se prepara el *Project Charter*, lo cual puede traducirse como Carta o Cédula de Proyecto. El contenido típico de un *Project Charter* es el siguiente:

- I. **Título.** Debe ser corto pero suficientemente explícito. Por *ejemplo* "*Reducción del plazo de entrega de XXX*".
- II. **Descripción del problema.** Si bien no es necesario que el problema se defina con el rigor y precisión con el que será necesario hacerlo posteriormente (fase "*Definir*" del proceso DMAIC) es conveniente que la definición sea lo más precisa posible. Debe tenerse presente que en la resolución de un problema puede producirse un resultado no deseado que es no poder resolverlo, pero también puede producirse otro resultado menos deseable que es "*resolver otro problema*". Por esta razón es muy importante describir el *problema* con precisión desde el principio. Desde la primera redacción del problema debe tenerse en cuenta que esta debe ser:
 - ◆ *Específica*
 - ◆ *Medible*
 - ◆ *Alcanzable*
 - ◆ *Relevante*
 - ◆ *Limitada en el tiempo*
- III. **Descripción de los objetivos a alcanzar.** Este aspecto también se precisará con mayor detalle en la fase "*Definir*", pero para que se pueda evaluar el proyecto es

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

necesario que al menos se facilite alguna cuantificación como por *ejemplo* "reducir el plazo de entrega en un 40%", "reducir el número defectos a 80 ppm", etc.

- IV. **Justificación del proyecto para la organización.** Se trata de indicar la importancia que tiene este proyecto para la organización. Puede ser cuantitativa o cualitativa. Un ejemplo de tipo cuantitativo puede ser "*el coste de calidad aproximado actual es de XXX €/año*". Un ejemplo de tipo cualitativo puede ser "*la reducción del plazo de entrega proporcionaría una ventaja competitiva que permitiría acceder al mercado XXX*". En este ejemplo sería muy apropiado incluir también una estimación de la cuota de mercado ganada.
- V. **Plazos.** La justificación indicada en el epígrafe anterior puede tener sentido sólo si se materializa en un plazo próximo, de lo contrario perdería todo o parte de su valor. Por ejemplo, en el caso anterior, el *Project Charter* podría decir "*el proyecto debe estar finalizado en cuatro meses*". Es importante que estos plazos sean realistas, ya que un *Proyecto Seis Sigma* requiere la captura de datos lo que suele requerir bastante tiempo. En general, el plazo típico de un *Proyecto Seis Sigma* es de pocos meses (es recomendable que no supere los 5 meses). De esta manera se facilita el control del proyecto y se "ven" los resultados enseguida, lo que facilita que los miembros de la organización mantengan la fe. En el caso de que por la naturaleza del proyecto sea un plazo mayor, debe considerarse seriamente la partición en varios proyectos consecutivos y complementarios.
- VI. **Condicionantes.** En algunas ocasiones los proyectos tienen algunos condicionantes que hacen que no valga cualquier solución. Por ejemplo, en el caso anterior, el *Project Charter* podría decir "*no se puede modificar la disposición en planta del taller XX*" o "*la pieza XX debe seguir siendo de acero por lo que no deben considerarse soluciones con materiales cerámicos*".
- VII. **Presupuesto.** En la ejecución de los *Proyectos Seis Sigma* la partida de gasto más importante suele ser las horas dedicadas por el equipo asignado, pero a veces

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

también puede haber gastos que afecten al flujo de caja. En algunas ocasiones puede ser conveniente fijar un tope máximo de gasto en el que puede incurrir el *cinturón negro* asignado al proyecto, precisando aprobación adicional si los supera. Por ejemplo, "Los gastos de viajes de desplazamiento a la planta XXX no superarán YYY €".

4.6) ¿CÓMO SE EVALÚAN LOS PROYECTOS SEIS SIGMA PARA FIJAR PRIORIDADES ENTRE ELLOS?

4.6.1 Planteamiento general

Naturalmente el objetivo es seleccionar aquellos proyectos que proporcionen mayores beneficios para la organización y se ejecuten con mayor facilidad. Por esta razón pueden resultar útiles técnicas de análisis mediante matrices similares a las empleadas en QFD. En la Figura 18 se reproduce un ejemplo simplificado. Como puede verse, estas matrices se basan en una serie de criterios que responden a las preguntas básicas que debe hacerse la Dirección:

- ◆ ¿Cuales son los objetivos estratégicos? En particular ¿cuáles son las características críticas de calidad para el cliente? En *terminología Seis Sigma* se denominan CTQs.
- ◆ ¿Cuales son las barreras que impiden alcanzarlos? En particular ¿cuáles son las características críticas que hay que controlar en el proceso para conseguir las CTQs? En terminología *Seis Sigma* se denominan CTPs.
- ◆ ¿Qué nuevos objetivos se podrían fijar para mejorar la posición competitiva?
- ◆ ¿Qué hay que solucionar para alcanzar esos objetivos?

En general los criterios para la selección de proyectos se basan en cuantificaciones de aspectos como:

- ◆ Resultados en los objetivos de negocio.
- ◆ Factibilidad del proyecto.
- ◆ Impacto en la organización.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- ◆ Justificación del proyecto y sinergias con los objetivos.

En el ejemplo expuesto en la Figura 17, la organización debería priorizar el *proyecto "Reducción del número de piezas dañadas por manipulación en el taller"*, sin embargo de enfatizarse que si se cambiaran los criterios de selección el resultado de la priorización podría ser muy diferente.

Si la selección de los proyectos es una etapa importante en los programas *Seis Sigma*, es especialmente más sensible durante el periodo inicial de formación. En este caso, deben ser proyectos con muchas posibilidades de éxito y factibles, considerando como un proyecto factible aquel que el tiempo dedicado para alcanzar la fase de control sea corta, a pesar de que se provoque un impacto en los resultados no muy importante en cuanto a la cantidad de ahorro. El tiempo de ejecución de estos proyectos es recomendable que no supere los 5 meses.

Conforme los participantes en los proyectos adquieran más experiencia, se podrán acometer proyectos con un componente técnico más complejo, de más riesgo y con un retorno económico más elevado.

4.6.2 Clasificación de los criterios de selección de proyectos

Los criterios de Selección de los proyectos se clasifican habitualmente en tres tipos:

- ◆ Criterios de Viabilidad. Se refieren a:
 - ✓ **Recursos necesarios**, es decir de disponibilidad real de las personas en los plazos en que se van a desarrollar los proyectos,...
 - ✓ **Experiencia disponible**, considerando como tal que conocimientos o habilidades técnicas serán necesarios para este proyecto y están realmente disponibles
 - ✓ **Complejidad**, ¿qué dificultades pueden surgir al desarrollar la función de mejora?, ¿qué dificultades habrá al ponerla en marcha.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- ✓ **Probabilidad** de éxito del proyecto.
- ✓ **Apoyo o convencimiento.** Debemos ser realistas a la hora de considerar que apoyos podemos anticipar para este proyecto por los grupos principales.
- ◆ Criterios de resultados o benéficos empresariales. Se refieren a:
 - ✓ **Impacto en clientes** y en requisitos externos.
 - ✓ **Impacto en estrategias empresariales** y otras posiciones competitivas.
 - ✓ **Impacto sobre las competencias centrales** de la organización.
 - ✓ **Impacto financiero** como puede ser reducción de costes, mejora de la eficiencia, aumento del nivel de ventas.
 - ✓ **Urgencia** considerando este aspecto diferente al impacto.
 - ✓ **Tendencias.** La reflexión en este apartado se referirá a la proyección del problema en el tiempo, es decir, ¿el problema se hace mayor o menor con el paso del tiempo?, ¿qué ocurriría si no hacemos nada?
 - ✓ **Secuencia o dependencia.** El análisis se referirá a detectar si hay otros proyectos u oportunidades que dependan de esta cuestión.
- ◆ Criterios de impacto en la organización. Se refieren a:
 - ✓ **Beneficios del aprendizaje.** Se valorará qué nuevos conocimientos aportará el proyecto a la organización.
 - ✓ **Beneficios interfuncionales.** Es importante conocer como el proyecto va a contribuir a eliminar, por ejemplo, barreras entre diferentes grupos de la organización y generará una mejor gestión global.

Si se asignan factores de pesos a cada uno de estos conceptos, se obtiene la evaluación del proyecto.

4.6.3 Priorización de proyectos

Para priorizar los proyectos evaluados según los criterios anteriores es muy útil la matriz de priorización (ver Figura 17).

4.6.4 ¿Cómo se estructuran las responsabilidades del proceso de detección de problemas y evaluación de proyectos seis sigma?

La articulación del despliegue del proceso de selección de proyectos, puede hacerse de diferentes formas según las características de la organización. En la Figura 19 se muestra un ejemplo típico. En este ejemplo puede verse que intervienen:

- ◆ Un *Comité Seis Sigma*. Este comité está integrado típicamente por el Director General, *Champion*, *Cinturón Negro Maestro* y responsables (o "*propietarios*") de los procesos clave. Habitualmente el secretario del comité es el *Champion*. En relación con la selección de proyectos, este Comité es responsable de:
 - ⇒ Fijar los objetivos de la organización (definición de la estrategia competitiva, segmentos de clientes a los que se dirige, etc.).
 - ⇒ Aprobar el procedimiento de selección preparado por el *Champion*.
 - ⇒ Seleccionar los *Proyectos Seis Sigma*.
 - ⇒ Asignar los recursos para los proyectos seleccionados.
 - ⇒ Asignar los equipos de mejora a los proyectos seleccionados (*cinturones negros*, etc.).
- ◆ *Champion*. Las responsabilidades típicas del *Champion* en relación con la selección de proyectos, son:
 - ⇒ Convertir los objetivos, estrategia competitiva, etc. fijados por el *Comité Seis Sigma* en criterios cuantitativos de selección.
 - ⇒ Realizar las tareas propias de la secretaría del *Comité* (preparación de agendas, convocatorias, elaboración de actas, archivo, seguimiento de acciones, etc.)

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- ◆ *Cinturón Negro Maestro*: Las responsabilidades típicas del *Cinturón Negro Maestro* en relación con la selección de proyectos, son:
 - ⇒ Proponer al *Comité Seis Sigma* el *cinturón negro* más adecuado para cada proyecto.
 - ⇒ Preparar el *Project Charter* correspondientes a los problemas propuestos por el personal a través de los canales de comunicación existentes.
- ◆ *Cinturones Negros*: Las responsabilidades del *Cinturón Negro* en relación con la selección de proyectos es la preparación de *Project Charters* correspondientes a proyectos que el considere de interés en función de su experiencia y actuaciones en anteriores *Proyectos Seis Sigma*.
- ◆ *Responsables de Procesos*: Las responsabilidades típicas de los *Responsables de Procesos* en relación con la selección de proyectos es la preparación de los *Project Charters* correspondientes a proyectos que afecten a los procesos de los que es responsable, en función de los datos, existentes, nuevos clientes etc.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

		VIABILIDAD	
		-	+
BENEFICIO + IMPACTO	+	<p>PROYECTO APLICABLE A ORGANIZACIONES CON UNA CULTURA AVANZADA EN SEIS SIGMA</p>	<p>PROYECTO BUENO PARA CUALQUIER ORGANIZACIÓN (BUENOS RESULTADOS CON POCO ESFUERZO) "LOW HANGING FRUIT".</p>
	-	<p>PROYECTOS NO PRIORITARIOS (POCOS RESULTADOS CON MUCHO ESFUERZO)</p>	<p>PROYECTO BUENO PARA ORGANIZACIONES QUE COMIENZAN EN SEIS SIGMA</p>

Figura 17: Matriz de Priorización de Proyectos

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

Proyectos \ Criterios	1 Ahorro mano de obra	2 Ahorro costes / gastos directos	3 Mejora imagen ante clientes	4 Aumento ventas	5 Mejora ambiente laboral	Peso Criterio x Puntuación	Probabilidad de éxito del Proyecto	Valoración Final del Proyecto	
Disminución de la variabilidad del proceso de protección superficial de la línea XXX.	●	○	○	○	●	42,00	+	126,00	
Reducción del plazo de entrega de XXX.	○	○	●	●	○	89,00	-	89,00	
Reducción tiempo de pago de gastos de viaje de empleados.	○	○	○	○	●	29,00	++	261,00	
Reducción del numero de piezas dañadas por manipulación en el taller.	●	●	○	○	○	85,00	++	765,00	
Peso del Criterio	○	○	○	○	△				

Matriz Criterios Proyectos	Peso Criterio
<ul style="list-style-type: none"> ● 5,00 Excede Cumplimiento total del criterio ● 4,00 Cumplimiento total del criterio ○ 3,00 Cumple aspectos esenciales del criterio ○ 2,00 Cumple parcialmente el criterio ○ 1,00 Cumple ligeramente el criterio ⚡ 0,00 Incumple el criterio 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 9,00 Muy importante ○ 3,00 Importante △ 1,00 Alguna Importancia
Probabilidad de éxito del Proyecto	
<ul style="list-style-type: none"> ++ 9,00 Muy alta probabilidad > 90% + 3,00 Probabilidad media (70% - 90%) - 1,00 Proyecto de riesgo (<70%) 	

Figura 18: : Ejemplo de matriz de evaluación de proyectos

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

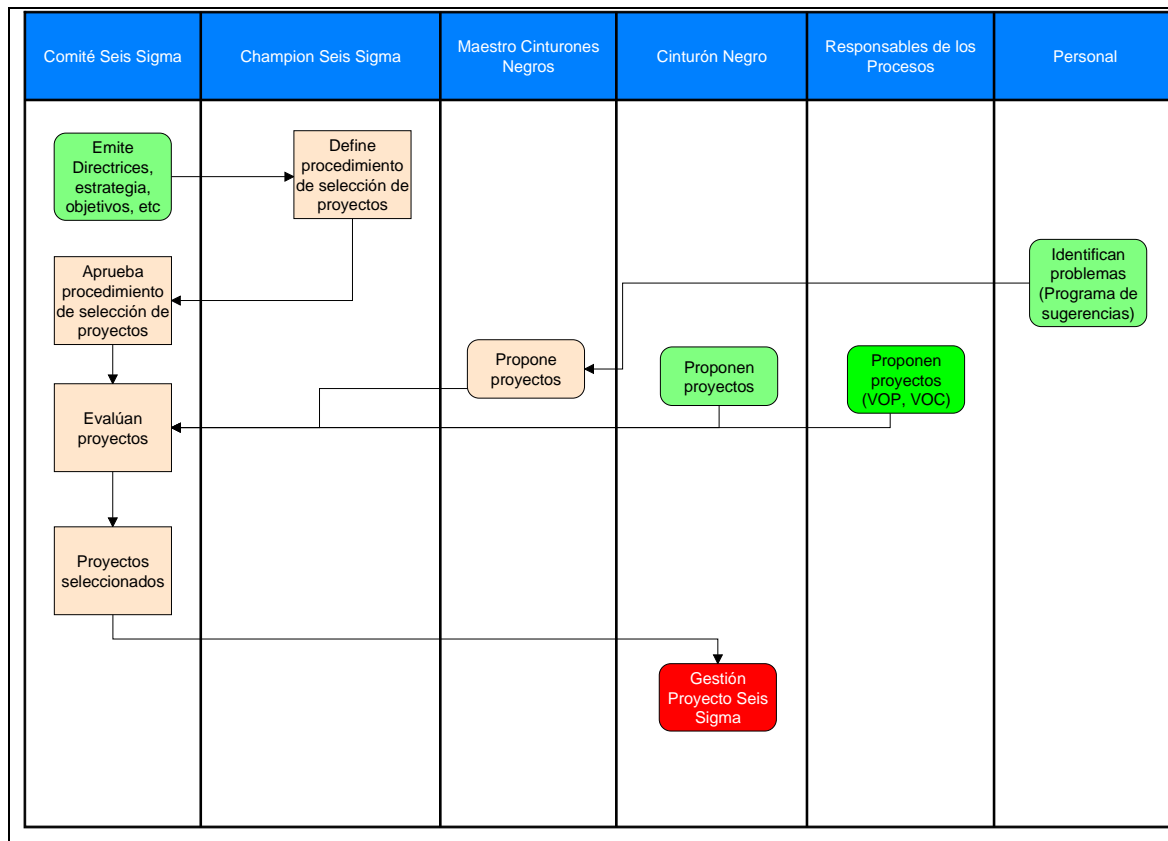


Figura 19: Ejemplo de un despliegue del proceso de selección de *Proyectos Seis Sigma*

5) LOS PROYECTOS DE MEJORA DMAIC

La aplicación de *Seis Sigma* a la mejora de procesos es la más habitual y se conoce habitualmente como **DMAIC**, ya que toma la inicial de cada uno de los pasos:

- **D**efine (definir).
- **M**easure (medir).
- **A**nalize (analizar).
- **I**mprove (mejorar).

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- Control (controlar).

Es indiscutible la relación que tiene con el clásico ciclo de mejora PDCA (Plan-Do-Check-Act) de Shewhart-Deming. Esto pone de manifiesto, una vez más, que *Seis Sigma* tiene muy pocas aportaciones originales y que su gran mérito ha sido conseguir estructurar cada uno de estos pasos de una manera sistemática. Es importante tener en cuenta que el paso de una etapa a la siguiente ha de ser autorizado por el *Champion* una vez que se ha demostrado que se han alcanzado los objetivos de la misma. A continuación se describe cada una de estas etapas.

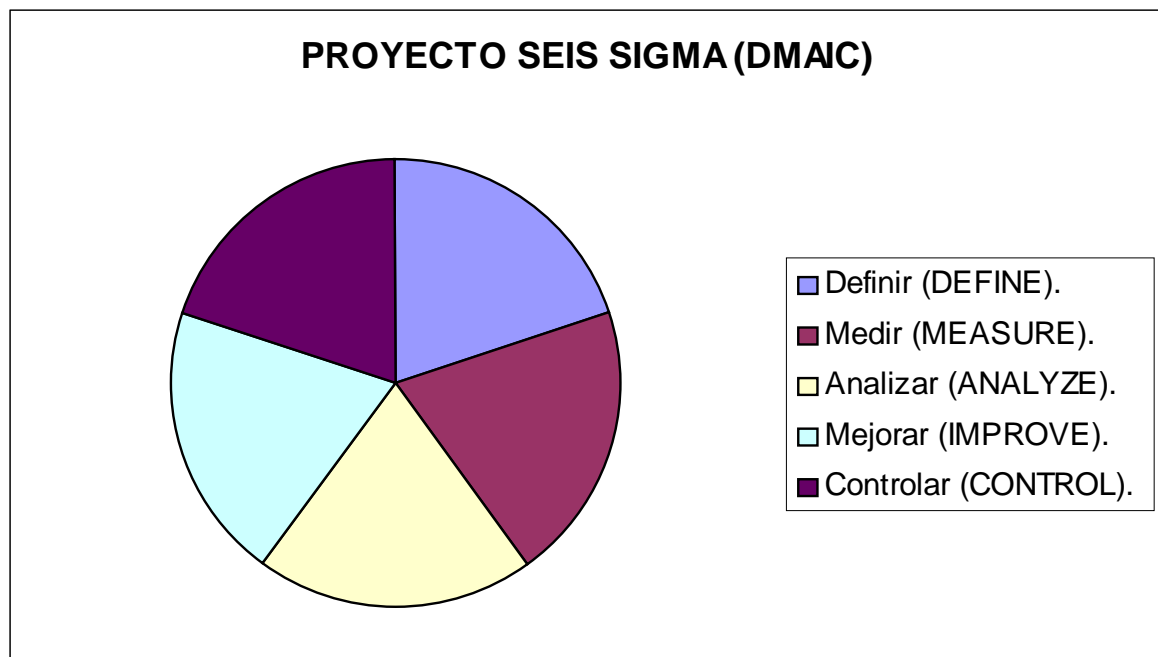


Figura 20: Fases del ciclo DMAIC

Definir

El objetivo de esta fase es definir los objetivos del proyecto así como las limitaciones existentes (es decir, definir el problema que hay que resolver y como se mide). Por lo tanto es preciso llegar a una definición inequívoca de los requisitos que debe cumplir el proceso (expectativas de los clientes del mismo). Estos requisitos deben analizarse y

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

jerarquizarse y en terminología *Seis Sigma* se denominan habitualmente **CTQ** (Critical To Quality). Resulta esencial que estos requisitos sean medibles.

En esta fase debe definirse con todo detalle el proceso que se va a mejorar, ya que de otro modo no sería posible saber si las posibles mejoras están relacionadas con los cambios realizados en el mismo. Para ello debe realizarse un diagrama de flujo del proceso en el que se incluyan todos los detalles que se espera que puedan afectar al resultado.

Para facilitar la recopilación jerarquización y despliegue de estos requisitos, resulta muy útil aplicar técnicas **QFD / VOC**.

Medir

El objetivo de esta fase es identificar la fuente del problema de la manera más precisa posible. Este objetivo no se podría alcanzar si no se dispusiera de datos, por lo que es preciso medir. En esta fase se recopilan los datos que describen el comportamiento del proceso. Para asegurar la consistencia de estos datos, debe planificarse adecuadamente las mediciones a realizar. En procesos industriales esto debe incluir la utilización de equipos de medidas adecuados y calibrados, la definición del procedimiento de medida a emplear y la realización de un estudio **R&R** que asegure que la variabilidad del proceso de medida es irrelevante frente a la variabilidad del proceso a mejorar.

En esta fase también debe decidirse la estrategia de investigación que se va a seguir. Básicamente, existen dos posibles estrategias. La primera de ellas consiste en la toma de datos procedentes de la operación normal del proceso y la segunda posibilidad consiste en investigar el comportamiento del proceso variando los parámetros de operación del mismo, empleando técnicas de diseño estadístico de experimentos (**DOE**). En el primer caso conviene estratificar la muestra en función de las posibles fuentes de variabilidad y en el segundo es preciso identificar previamente qué parámetros son los que pueden afectar al proceso, así como su rango de variación.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

Además deben medirse los costes de calidad, **COPQ** (Cost Of Poor Quality) en terminología *Seis Sigma*, en los que está incurriendo el proceso. Estos datos son básicos para realizar posteriormente la cuantificación de las mejoras financieras.

En esta fase necesariamente:

- Deben definirse las características CTQ.
- Debe validarse el sistema de medida de las CTQ.

Analizar

El objetivo de esta fase es identificar la fuente del problema de la manera más precisa posible. La solución propuesta debe estar amparada por datos. En esencia se basa en la aplicación del “*método científico*” para llegar a una conclusiones. Por esta razón, el papel de un *cinturón negro* puede verse como una mezcla de detective y científico. Todo esto lleva a la adquisición de conocimientos sobre el comportamiento de los procesos, de manera que se puede predecir las características de calidad en función de los valores aplicados a los parámetros del proceso.

Típicamente, en esta fase se realizan los análisis de los datos estadísticos recogidos, de manera que permita alcanzar conclusiones. Es decir, se trata de explicar el comportamiento del proceso (tanto de los valores de los requisitos **CTQ** como de la variabilidad de los mismos) en función de los parámetros del proceso que tengan mayor influencia (que en terminología *Seis Sigma* se denominan **CTP**, Critical To Process). Las técnicas estadísticas a emplear varían según los casos, pero en la mayor parte de los casos puede ser suficiente emplear técnicas simples de estadística descriptiva (**EDA**, Exploratory Data Analysis) y análisis de regresión. Las conclusiones obtenidas pueden ser absolutamente concluyentes, de manera que se identifiquen qué mejoras deben introducirse (por ejemplo, valores de operación de los parámetros, características de la materia prima, etc.) o simplemente pueden proporcionar algunas pistas hacia donde debe dirigirse el estudio del proceso. Como puede verse claramente ahora, no es otra cosa que la aplicación de método científico de investigación a los procesos.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

Mejorar

El objetivo de esta fase es demostrar con datos que la solución propuesta resuelve el problema y supone una mejora. Junto con la fase anterior, la utilización de las herramientas estadísticas es esencial.

En esta fase se trata de la puesta en práctica de la “solución” obtenida en la fase anterior. En algunos casos esta puesta en práctica puede ser inmediata (por ejemplo, cambio de la temperatura de trabajo de un horno), pero en otros puede ser más lenta (por ejemplo, por requerir la preparación de utillaje especial).

Una vez puesta en marcha la “solución”, se trata de verificar si los resultados del “nuevo proceso” son mejores que los del proceso “antiguo” y llegar a la optimización final. Obviamente el análisis estadístico es de gran ayuda para respaldar estas conclusiones. En el caso de que los datos obtenidos respalden las mejoras, puede adoptarse esa solución y pasar a la siguiente fase. En caso contrario, debe aprovecharse la información obtenida para definir las siguientes investigaciones.

En esta fase necesariamente:

- Deben fijarse los valores óptimos de los **CTP**.
- Deben quedar definidas las tolerancias de los parámetros.

Controlar

El objetivo de esta fase es asegurarse de que la mejora se incorpora a la operativa normal. Sin esta fase todo lo anterior no valdría para nada.

La implantación de la “solución” de una manera permanente tiene tres aspectos diferenciados:

- *Definición de responsabilidades del proceso una vez finalizado el proyecto de mejora.* El nuevo proceso puede requerir nuevas actividades a las que sea preciso asignar personal responsable.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

- *Establecimiento del sistema de control del proceso.* Se trata de definir la estrategia de control más adecuada para los **CTP** (y en algunos caso también para los **CTQ**). En general esta estrategia puede ser de tipo SPC, Poka Yoke, etc. Esto puede incluir la validación del sistema de medida que se emplee en producción.
- *Ejecución del ciclo de control por los responsables del proceso.* Antes de retirarse del proceso de mejora, el *cinturón negro* debe responsabilizarse de que el personal asignado al proceso puede operar el mismo una vez que se hayan introducido las modificaciones. En unos casos puede ser necesaria la realización de formación sobre el puesto de trabajo, en otros, una redefinición de responsabilidades, etc.

Una vez finalizada esta fase, se procedería al cierre del proyecto y a la cuantificación de las mejoras alcanzadas.

FASE	OBJETIVOS	DOCUMENTACIÓN A ENTREGAR EN EL TOLLGATE
DEFINIR	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Definir el problema a resolver y sus condicionantes. ◆ Establecer métrica del problema. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Project Charter (actualizado). ◆ Análisis de partes implicadas. ◆ SIPOC. ◆ VOC.
MEDIR	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Identificación de la localización del problema recopilando datos de la situación actual. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ AMFE (cuando se juzgue necesario) ◆ Plan de recogida de datos. ◆ Despliegue CTQ/CTP->CTP. ◆ R&R del sistema de medida que genere los datos (cuando se juzgue necesario). ◆ Datos recogidos.
ANALIZAR	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Identificación de la causa del problema (soportada por datos). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Informe justificativo.
MEJORAR	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Demostración de que la solución propuesta resuelve el problema (soportada por datos). 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Informe justificativo.
CONTROLAR	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Asegurar que la mejora se incorpora a la operativa normal. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Procedimientos e instrucciones de trabajo que sea necesario modificar. ◆ Informe de caracterización del proceso final
CIERRE	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Cuantificar las aportaciones económicas del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Informe financiero de cierre del proyecto.

Tabla 10: Resumen de objetivos y documentación de entrega de cada fase de un proyecto de mejora tipo DMAIC

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

En las tablas siguientes se recoge la distribución de la carga de trabajo y la planificación de un proyecto DMAIC típico que no presente dificultades especiales. Obsérvese que hasta el cierre del proyecto se deja transcurrir un tiempo suficiente para comprobar que la solución propuesta ha quedado perfectamente adaptada en las operaciones diarias.

	Número de reuniones	Tiempo típico reunión	BB con el grupo de trabajo	Horas trabajo personal del BB / horas reunión	BB Individual	Total horas	Distribución
LANZAMIENTO	1	1,00	1,00	2,00	2,00	3,00	2%
DEFINIR	1	4,00	4,00	3,00	12,00	16,00	9%
MEDIR	5	2,00	10,00	3,00	30,00	40,00	22%
ANALIZAR	3	3,00	9,00	5,00	45,00	54,00	29%
MEJORAR	3	3,00	9,00	5,00	45,00	54,00	29%
CONTROLAR	3	1,00	3,00	2,00	6,00	9,00	5%
SEGUIMIENTO	5	1,00	5,00	1,00	5,00	10,00	5%
TOTAL	21		41		145	186	100%

Tabla 11: Horas de un proyecto DMAIC típico

		MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
LANZAMIENTO									
DEFINIR									
MEDIR									
ANALIZAR									
MEJORAR									
CONTROLAR									
SEGUIMIENTO									
CIERRE PROYECTO									
RECONOCIMIENTO RESULTADOS									

Tabla 12: Planificación de un proyecto DMAIC típico

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

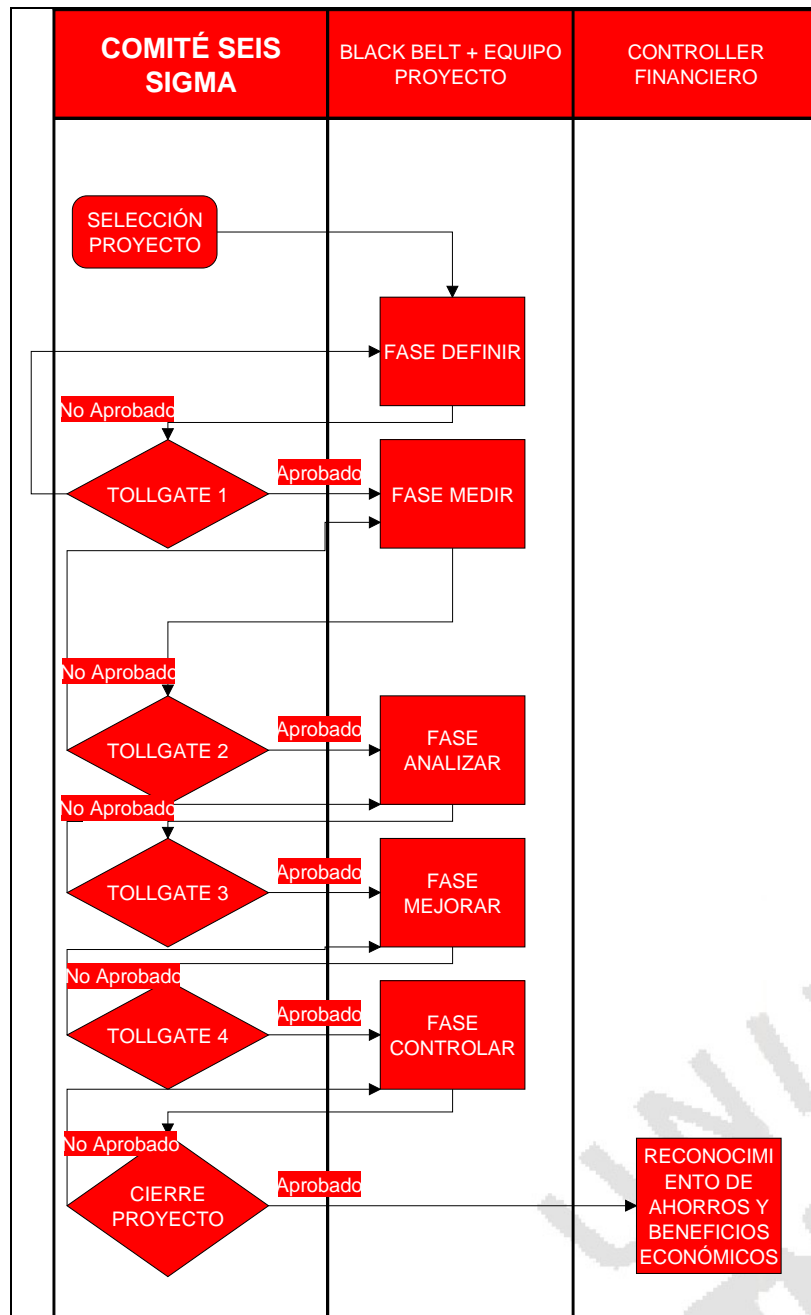


Figura 21: Diagrama de despliegue de un ciclo DMAIC

6) INTRODUCCIÓN AL DFSS.

Es bien sabido que no puede *haber una buena calidad* si no hay un *buen diseño*. La idea del **DFSS** (*Design For Six Sigma*) es anticiparse en la etapa de diseño de manera que se eliminen o neutralicen las causas que pueden propiciar no conformidades. Sin embargo **DFSS**, no llega a un nivel de detalle metodológico comparable al **DMAIC**. Una de las causas que explican este hecho puede ser la heterogeneidad de situaciones que pueden encontrarse bajo la palabra “*diseño*”. En efecto, seguramente tiene muy poco en común diseñar un nuevo modelo de teléfono móvil, una póliza de seguros o el sistema contraincendios de un aeropuerto.

Dentro de **DFSS** existen varias escuelas, entre las que se encuentran las siguientes:

- **DMADV** (**D**efine, **M**easure, **A**nalyze, **D**esign and **V**erify). Probablemente es la más difundida y es una adaptación de **DMAIC** a un proceso de diseño. Por esta razón funciona bien cuando se aplica al diseño de nuevos procesos.
- **IDOV** (**I**dentify, **D**efine, **O**ptimize, **V**alidate). Probablemente sea esta la versión que mejor se adapte a los casos de diseño de productos industriales.
- **DCCDI** (**D**efine, **C**ustomer, **C**oncept, **D**esign, **I**mplementation). Etc.

La opinión del autor es que resulta muy difícil definir una metodología de diseño que se adapte con éxito a cualquier situación, organización y tipo de producto o servicio. Por lo tanto, la metodología más adecuada ha de ser definida para cada caso particular, tomando como partida cualquiera de las anteriores y ha de hacer uso de las siguientes herramientas y técnicas:

- **AMFE**.
- **QFD**.
- Benchmarking.
- **DOE**, en particular las aplicaciones dirigidas a diseños robustos.
- Técnicas de simulación (en algunos casos, en combinación con **DOE**).

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

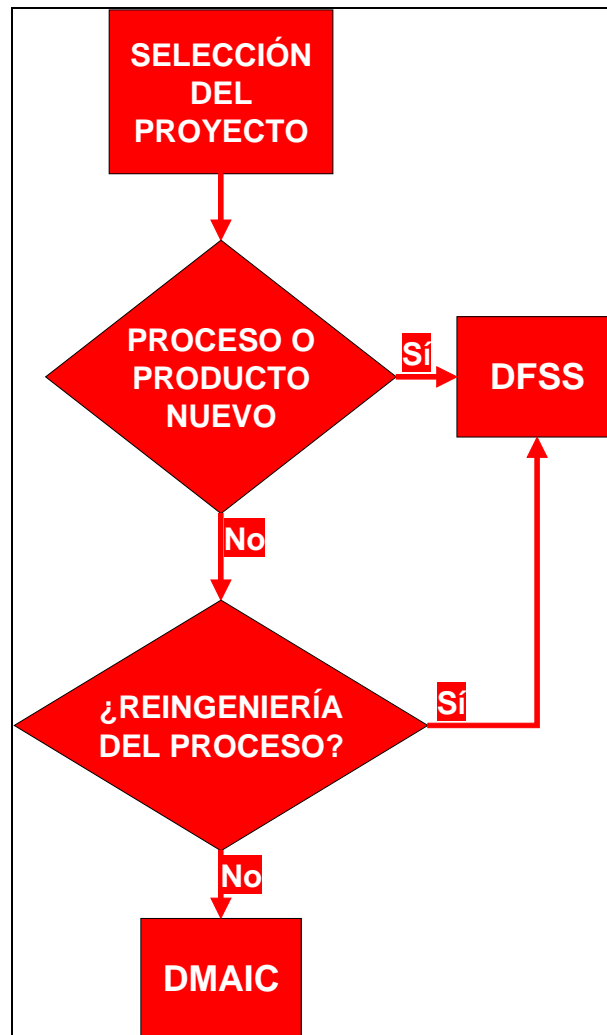


Figura 22: DMAIC VS DFSS

7) CONCLUSIONES

A modo de resumen, *Seis Sigma* presenta las características siguientes:

- Es una metodología muy eficaz para la mejora de los procesos que basa las decisiones en criterios estadísticos y su objetivo es la mejora de la cuenta de resultados.
- No emplea ninguna herramienta estadística nueva u original.
- Tiene definida una sistemática de gestión de proyectos de mejora muy potente.
- Es totalmente aplicable a la mejora de los servicios.
- Ha vuelto a poner de manifiesto que las herramientas estadísticas presentan unas posibilidades enormes para la mejora de los procesos, de los productos y de los servicios.
- Para aplicar estas herramientas con éxito hay que tener una mezcla de rigor estadístico – matemático y sentido práctico.
- En general, no se debe implantar de manera mimética el *Seis Sigma* de **Motorola**, de **GE** ni ningún otro, sino adaptarlo a las necesidades de cada organización.
- Es complementaria y se realimenta positivamente con ISO 9000 y EFQM.
- De manera general, no se puede alcanzar ninguna meta que merezca la pena sin esfuerzo y talento. Particularizando, no puede alcanzarse ninguna mejora si no se asignan a ello personas capacitadas para ello y con suficiente disponibilidad de tiempo.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

ANEXO I. ABREVIATURAS

Alguna de las abreviaturas empleadas son suficientemente conocidas (por ejemplo AMFE) pero otras son propias de la jerga *Seis Sigma*. A continuación se indica el significado de las mismas.

SIGLAS INGLÉS	ACLARACIÓN SIGLAS	SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS EN ESPAÑOL	OBSERVACIONES
BB	Black Belt	Cinturón Negro	
COPQ	Cost Of Poor Quality	Coste de la Mala Calidad	
CTP	Critical To Process	(Parámetro) Crítico para el Proceso	Parámetro del proceso altamente correlacionado con algún CTQ
CTC	Critical To Cost	(Característica) Crítica para el Coste (de un producto o servicio)	
CTQ	Critical To Quality	(Característica) Crítica para la Calidad (Importante para el Cliente)	
DCCDI	Define, Customer, Concept, Design, Implementation	Definir, Clientes (expectativas), Concept (diseño conceptual), Diseño y Realización.	Adaptación de DMAIC (reingeniería) al rediseño de un proceso
DFSS	Design For Six Sigma	Diseño para Seis Sigma	
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve and Control	Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar	
DMADV	Define, Measure, Analyze, Design and Verify	Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar	Adaptación de DMAIC (reingeniería) al rediseño de un proceso
DPMO	Defects Per Million Opportunities	Defectos por millón de Oportunidades	$10^6 \cdot \text{DPO}$
DPMU	Defects Per Million Units	Defectos por millón de Unidades	$10^6 \cdot \text{DPU}$
DPO	Defects Per Opportunity	Defectos por Oportunidad	DPU^* (Oportunidades / Unidad)
DPU	Defects Per Unit	Defectos Por Unidad	
EDA	Exploratory Data Analysis	Análisis exploratorio de los datos	
FTY	First Time Yield	Rendimiento a la primera (en una etapa del proceso)	Fracción de la producción conforme a la primera en una etapa del proceso, $\text{FTY} = \text{Unid. Conf.} / \text{Unid. Procesadas}$. Se recomienda emplear TY en lugar de FTY.
FY	Final Yield	Rendimiento Final (en todo el proceso)	Fracción de la producción conforme a la primera en todas las etapas del proceso, $\text{FY} = \text{Unid. Conf. al final del Proceso} / \text{Unid. Procesadas al principio del Proceso}$. Se recomienda emplear RTY en lugar de FY.
GB	Green Belt	Cinturón Verde	

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

SIGLAS INGLÉS	ACLARACIÓN SIGLAS	SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS EN ESPAÑOL	OBSERVACIONES
ICSI	Improve Control Standardize Integrate	Mejorar Controlar Normalizar e Integrar	Se refiere al sistema de gestión de proyectos 6 sigma (no a la gestión de "un proyecto seis sigma").
IDOV	Identify, Define, Optimize, Validate	Identificar (expectativas CTC), Definir (CTQ), Optimizar, Validar	Adaptación de DMAIC (reingeniería) al rediseño de un proceso
KPI	Key Process Indicator	Indicador clave del proceso	Métrica asociada a un CTP
LT	Long Term	Largo Plazo	Periodo de tiempo en el que el proceso puede estar afectado por otras fuentes de variabilidad distintas de las causas comunes (por ejemplo derivas de la media).
MBB	Master Black Belt	Maestro de Cinturones Negros	
NY	Normalized Yield	Rendimiento Normalizado	$NY = (RTY)^{1/K}$ (proceso de k etapas).
RTY	Rolled Throughput Yield	Rendimiento de todo el proceso	Probabilidad de que una pieza se fabrique a la primera sin ningún defecto a lo largo de todo el proceso. $RTY = \exp(-DPU)$, DPU es la suma de los DPU de todas las etapas del proceso
SIPOC	Supplier Input Process Output Customer	Proveedor Entrada Proceso Salida Cliente	Diagrama de flujo de alto nivel (bajo nivel de detalle) que representa el proceso
SMED	Single Minute Exchange of Die	Cambio del útil en un minuto	Diseño de utillajes para que se puedan reemplazar muy rápidamente y poder fabricar piezas diferentes. Permite una fabricación flexible con lotes pequeños
SSBS	Six Sigma Breakthrough Strategy	Estrategia de Progreso Seis Sigma	DMAIC + DFSS + DESPLIEGUE
ST	Short Term	Corto Plazo	Periodo de tiempo en el que solo influye la variabilidad natural del proceso (causas comunes).
TOP	Total Opportunities	(Número) Total de Oportunidades (de defectos)	$TOP = DPU \times \text{Número de Unidades}$
TT	Takt Time	Tiempo de "Takt"	Takt es la palabra alemana para el compás de la orquesta. Se refiere el tiempo en el que hay que realizar una operación.
TY	Throughput Yield	Rendimiento de una etapa de un proceso	Probabilidad de que una pieza se fabrique sin ningún defecto en una etapa del proceso. $TY = \exp(-DPU)$, DPU corresponde a la etapa del proceso
VOC	Voice Of the Customer	Voz del Cliente	Se refiere a las expectativas del cliente (en general, abstractas o no concretas)
VOP	Voice Of the Process	Voz del Proceso	Se refiere a los datos generados por el proceso.
VSM	Visual Stream Mapping	Mapa visual de flujos (de piezas, datos,	Muy aplicado en Lean para

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

SIGLAS INGLÉS	ACLARACIÓN SIGLAS	SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS EN ESPAÑOL	OBSERVACIONES
		etc.)	analizar flujos de proceso. Sirve para identificar y reducir el desperdicio.

Tabla 13: Tabla de abreviaturas

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

ANEXO II. CONVERSIÓN DE FRACCIONES DEFECTUOSAS A NIVEL SIGMA

SIGMA	CENTRADA (CORTO PLAZO)	DESPLAZADA 1,5 SIGMA LARGO PLAZO	CENTRADA	DESPLAZADA 1,5 SIGMA
	Frac. Defect. (ppm)	Frac. Defect. (ppm)	Yield	Yield
2,0	45.500,124	308.770,206	0,954	0,691
2,1	35.728,715	274.412,211	0,964	0,726
2,2	27.806,798	242.071,409	0,972	0,758
2,3	21.448,162	211.927,706	0,979	0,788
2,4	16.395,058	184.108,207	0,984	0,816
2,5	12.419,360	158.686,946	0,988	0,841
2,6	9.322,444	135.686,770	0,991	0,864
2,7	6.934,046	115.083,086	0,993	0,885
2,8	5.110,381	96.809,096	0,995	0,903
2,9	3.731,760	80.762,128	0,996	0,919
3,0	2.699,934	66.810,630	0,997	0,933
3,1	1.935,342	54.801,404	0,998	0,945
3,2	1.374,404	44.566,734	0,999	0,955
3,3	966,965	35.931,060	0,999	0,964
3,4	673,962	28.716,973	0,999	0,971
3,5	465,347	22.750,349	1,000	0,977
3,6	318,291	17.864,528	1,000	0,982
3,7	215,660	13.903,499	1,000	0,986
3,8	144,745	10.724,139	1,000	0,989
3,9	96,231	8.197,562	1,000	0,992
4,0	63,372	6.209,699	1,000	0,994
4,1	41,337	4.661,233	1,000	0,995
4,2	26,708	3.467,029	1,000	0,997
4,3	17,092	2.555,194	1,000	0,997
4,4	10,834	1.865,882	1,000	0,998
4,5	6,802	1.349,968	1,000	0,999
4,6	4,229	967,672	1,000	0,999
4,7	2,605	687,202	1,000	0,999
4,8	1,589	483,483	1,000	1,000
4,9	0,960	336,981	1,000	1,000
5,0	0,574	232,673	1,000	1,000
5,1	0,340	159,146	1,000	1,000
5,2	0,200	107,830	1,000	1,000
5,3	0,116	72,372	1,000	1,000

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

SIGMA	CENTRADA (CORTO PLAZO)	DESPLAZADA 1,5 SIGMA LARGO PLAZO	CENTRADA	DESPLAZADA 1,5 SIGMA
	Frac. Defect. (ppm)	Frac. Defect. (ppm)	Yield	Yield
5,4	0,067	48,116	1,000	1,000
5,5	0,038	31,686	1,000	1,000
5,6	0,021	20,669	1,000	1,000
5,7	0,012	13,354	1,000	1,000
5,8	0,007	8,546	1,000	1,000
5,9	0,004	5,417	1,000	1,000
6,0	0,002	3,401	1,000	1,000

Tabla 14: Conversión de fracciones defectuosas a nivel sigma

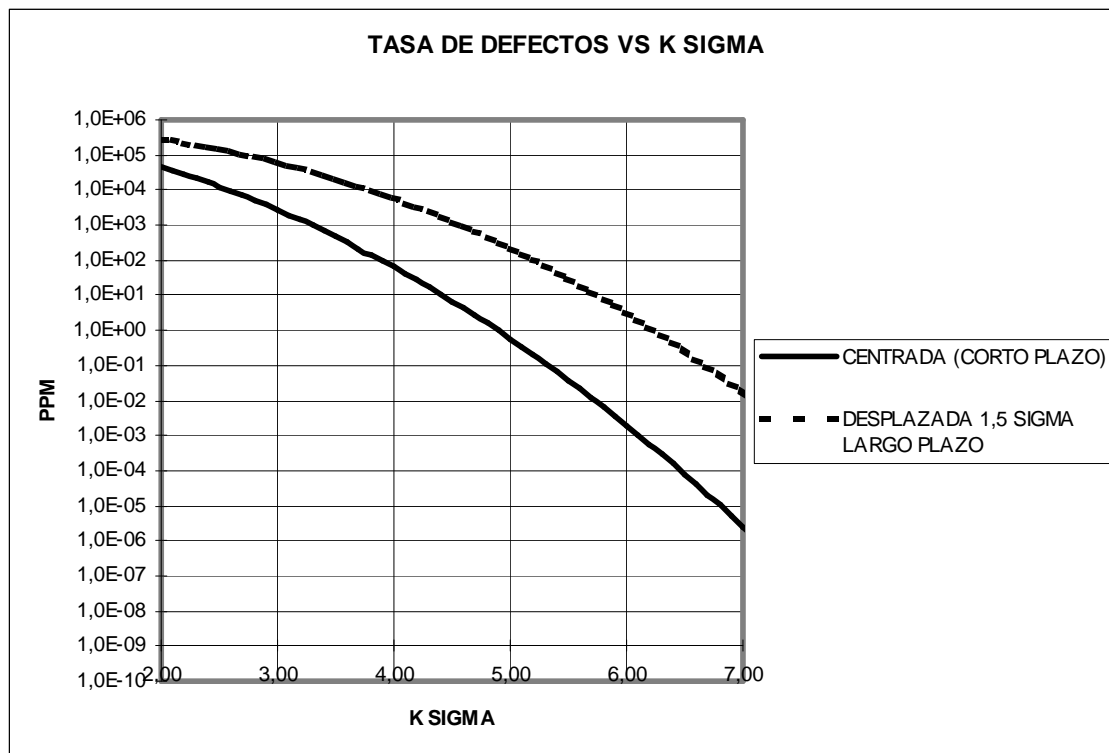


Figura 23: Gráfico ppm = f(Sigma)

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

ANEXO III. FTY en función del nivel sigma y número de componentes

	3 SIGMA	4 SIGMA	5 SIGMA	6 SIGMA
	ppm (1,5 SIGMA) 66.811	ppm (1,5 SIGMA) 6.210	ppm (1,5 SIGMA) 232,7	ppm (1,5 SIGMA) 3,4
Número de componentes				
1	93,32%	0,99379	0,999767	0,999997
5	70,77%	0,96933	0,998837	0,999983
7	61,63%	0,95733	0,998372	0,999976
10	50,08%	0,93961	0,99768	0,99997
20	25,08%	0,88287	0,99536	0,99993
40	6,29%	0,77945	0,99074	0,99986
50	3,15%	0,73238	0,98843	0,99983
60	1,58%	0,68815	0,98613	0,99980
80	0,40%	0,60755	0,98156	0,99973
100	0,10%	53,64%	97,70%	99,97%
150	0,00%	39,28%	96,57%	99,95%
200	0,00%	28,77%	95,45%	99,93%
300	0,00%	15,43%	93,26%	99,90%
400	0,00%	8,28%	91,11%	99,86%
500	0,00%	4,44%	89,02%	99,83%
600	0,00%	2,38%	86,97%	99,80%
700	0,00%	1,28%	84,97%	99,76%
800	0,00%	0,69%	83,01%	99,73%
900	0,00%	0,37%	81,10%	99,69%
1.000	0,00%	0,20%	79,24%	99,66%
1.200	0,00%	0,06%	75,64%	99,59%
3.000	0,00%	0,00%	49,75%	98,98%
5.000	0,00%	0,00%	31,24%	98,31%
10.000	0,00%	0,00%	9,76%	96,66%
50.000	0,00%	0,00%	0,00%	84,36%
100.000	0,00%	0,00%	0,00%	71,17%
150.000	0,00%	0,00%	0,00%	60,04%

Tabla 15: FTY en función del nivel sigma y la complejidad

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

ANEXO IV. HERRAMIENTAS EMPLEADAS EN SEIS SIGMA

Herramienta	DEFINIR	MEDIR	ANALIZAR	MEJORAR	CONTR.
AMFE					
Análisis de componentes de la varianza					
Análisis de la varianza					
Análisis de los sistemas de medida. Estudios R&R					
Análisis de partes implicadas					
Análisis de Tolerancias RSS					
Análisis del valor del proceso					
Árbol CTQ					
Árbol de Soluciones					
Business case					
Capacidad de proceso					
Contrastes de hipótesis: t-test					
Contrastes de hipótesis: t-test pareado					
Diagrama de Afinidad					
Diagrama de despliegue					
Diagrama de Dispersión					
Diagrama de Gantt					
Diagrama de Ishikawa (causa - efecto)					
Diagrama de Pareto					
Diagrama SIPOC					
Diagramas de concentración					
Diagramas de frecuencia					
Diagramas estratificados de frecuencia					
Diagramas temporales (run charts)					
Diseños Box-Behnken					
Diseños de mezclas					
Diseños factoriales a dos niveles					
Diseños factoriales fraccionales a dos niveles					
Diseños Plakett Burmann					
Diseños robustos					
Estratificación					
Estudios R&R					
Ficha de muestreo					
Gráficos CUSUM					
Gráficos de Control para series cortas					
Gráficos EWMA					
Gráficos I-MR					

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

Herramienta	DEFINIR	MEDIR	ANALIZAR	MEJORAR	CONTR.
Gráficos p, np, c y u					
Gráficos X-R / X-S					
Histogramas					
Hojas de comprobación					
Hojas de confirmación					
Intervalos de confianza					
Matriz Impacto Esfuerzo					
Métodos superficie respuesta y EVOP					
Muestreo					
MULTIVARI / BOXPLOT					
Plan de Control del Proceso					
Plan de recogida de datos. Formularios de recogida de datos					
Project Charter					
QFD y Matrices causa efecto, CTQ, CTP					
Regresión logística.					
Regresión múltiple					
Regresión simple y correlación.					
Tabla de Planificación					
Test Chi-2 y tablas de contingencia					
Tormenta de ideas					

ANEXO V. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ◆ *Implementing Six Sigma. Smarter Solutions Using Statistical Methods.* Forrest W. Breyfogle III. John Wiley & Sons
- ◆ *Rath & Strong's Six Sigma Pocket Guide.* Mary A. Williams, Thomas Bertels y Harvey Dershin
- ◆ *Six Sigma for Electronics Design and Manufacturing.* Sammy G. Shina. McGraw-Hill
- ◆ *Six Sigma Mechanical Design Tolerancing.* Mikel Harry y Reigle Stewart. Motorola University Press
- ◆ *Six Sigma. The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations.* Mikel Harry y Richard Schroeder. Currency
- ◆ *The GE Way Fieldbook. Jack Welch's Battle Plan for Corporate Revolution.* Robert Slater. McGraw-Hill
- ◆ *The Six Sigma Way. How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance.* Peter S. Pande, Robert P. Neumann y Roland R. Cavanagh. McGraw-Hill
- ◆ *The Six Sigma Way. Team Fieldbook.* Peter S. Pande, Robert P. Neumann y Roland R. Cavanagh. McGraw-Hill
- ◆ *6 Sigma desde la praxis: Experiencias concretas de empresas españolas.* Comité 6 Sigma de la AEC. 2007.
- ◆ *6 Sigma. Qué es y cómo aplicarlo a la empresa española.* Mariano Prieto Córdoba. AEC. 2006.

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

ANEXO VI. PORTALES WEB Y LIBROS ELECTRÓNICOS RECOMENDADOS

ORGANISMO	URL	ASPECTOS INTERESANTES
NIST-SEMATECH	http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm	Texto on line sobre estadística industrial enfocado hacia la ingeniería de calidad y fiabilidad. ¡¡¡Merece la pena!!!!
Six Sigma Zone	http://www.sixsigmazone.com/	Portal sobre 6 Sigma. Se puede suscribir un boletín de noticias electrónico
International Society of Six sigma Professionals	http://www.isssp.com/index.asp	Portal sobre 6 Sigma. Servicios de pago.
Six Sigma Companies	http://www.sixsigmacompanies.com/	Contiene blogs de Black Belts
iSixSigma	http://www.isixsigma.com/	Es el foro más importante sobre SS. Se puede suscribir varios un boletines de noticias electrónicos sectoriales (financiero, hospitales, etc.)
Onesixsigma	http://www.onesixsigma.com/	Portal sobre 6 Sigma. Se puede suscribir un boletín de noticias electrónico
SixSigma.us	http://www.6sigma.us/	Portal sobre 6 Sigma. Se puede suscribir un boletín de noticias electrónico
QFD Institute	http://www.qfdi.org/	Buena referencia relativa a QFD (Quality Function Deployment). Se puede suscribir un boletín de noticias electrónico
QFD-Institut Deutschland	http://www.qfd-id.de/en/index.html	
QFD and Voice of Customer Analysis for Design For Six Sigma and APQP	http://www.mazur.net/publishe.htm	QFD Case Studies and White Papers by Glenn Mazur. G. Mazur es uno de los Gurús actuales de QFD.
Six Sigma Global Registry	http://www.sixsigmaregistry.com/default.aspx	Registro de profesionales cualificados (requiere pagar para estar incluido). Se puede suscribir un boletín de noticias electrónico
Web	http://www.triz-journal.com/	TRIZ= Método para generar soluciones

INTRODUCCIÓN A SEIS SIGMA

ORGANISMO	URL	ASPECTOS INTERESANTES
dedicada al TRIZ		innovadoras
Realinnovation.com	http://www.realinnovation.com/	Web dedicada a la innovación
Weibull.com	http://www.weibull.com/	Página web dedicada a la fiabilidad (la función de Weibull es una función de probabilidad muy utilizada en fiabilidad). Dispone de foro de discusión y sw de análisis de datos gratuitos. Se pueden descargar pdf de las normas MIL relacionadas con la fiabilidad.
AEC	http://www.aec.es/comites/comites.asp?id=58&CatId=66&pagina=0	Comité 6 Sigma de la AEC

Tabla 16: Listado de principales webs relacionadas con Seis Sigma