

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



TESIS

“FACTORES CRÍTICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EXITOSA DE LA
METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN LA INDUSTRIA DE BAJA CALIFORNIA”

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS

presenta:

DIEGO ALFREDO TLAPA MENDOZA

Director de tesis

DR. JAIME SÁNCHEZ LEAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

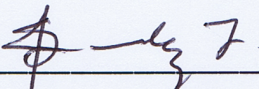
“FACTORES CRÍTICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EXITOSA DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN LA INDUSTRIA DE BAJA CALIFORNIA”

TESIS

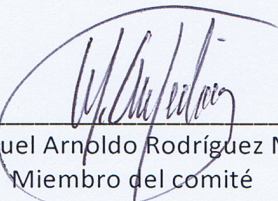
Que para obtener el grado de DOCTOR EN CIENCIAS presenta:

Diego Alfredo Tlapa Mendoza

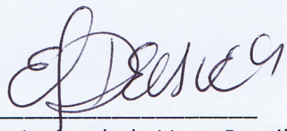
Aprobada por el siguiente comité:



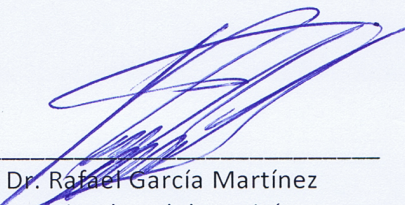
Dr. Jaime Sánchez Leal
Director de tesis



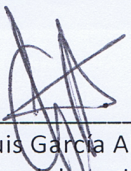
Dr. Manuel Arnoldo Rodríguez Medina
Miembro del comité



Dr. Enrique Javier de la Vega Bustillos
Miembro del comité



Dr. Rafael García Martínez
Miembro del comité



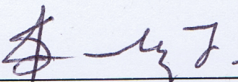
Dr. Jorge Luis García Alcaraz
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México. Diciembre, 2012.

RESUMEN de la tesis de **DIEGO ALFREDO TLAPA MENDOZA** presentada como requisito parcial para la obtención del grado de DOCTOR EN CIENCIAS del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería de la UABC. Ensenada Baja California, México, Diciembre de 2012

“FACTORES CRÍTICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EXITOSA DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA EN LA INDUSTRIA DE BAJA CALIFORNIA”

aprobado por:



Dr. Jaime Sánchez Leal
Director de Tesis

En años recientes la metodología seis sigma se ha implementado en empresas establecidas en México, en el caso de Baja California, principalmente en empresas del sector secundario de la rama de la industria de la transformación y en especial empresas maquiladoras, las cuales en 2011 para este estado representan 224,029 personas que laboran en ellas, lo que significa cerca del 18% de la población económicamente activa. Ante este contexto la presente investigación aborda la problemática de implementar correctamente la metodología seis sigma en estas empresas y tiene por objetivo desarrollar un modelo que explique la relación de los factores que incrementan las posibilidades de éxito al implementar seis sigma en empresas de Baja California, esto se describe en la introducción. Para lograr lo expuesto, primeramente se hace una extensa revisión de literatura que abarca la búsqueda y selección de entre más de 2000 artículos, tanto de los factores críticos de éxito, como de las herramientas y técnicas que utilizan los usuarios a nivel mundial al implementar seis sigma, un resumen de los hallazgos se describe en el marco teórico, donde también se describe información de las técnicas de meta-análisis, generación de constructos, confiabilidad y validación de instrumentos de obtención de datos, y modelación de ecuaciones estructuradas los cuales se emplean en el desarrollo del trabajo.

En el apartado de la metodología se describen las 5 fases que se proponen para la consecución del objetivo general. Esta metodología incluye la determinación de los factores así como de las herramientas y técnicas más utilizados por los usuarios, seguido por la caracterización de los factores a través de constructos, la generación, prueba y validación de un instrumento de obtención de datos, y la generación de un modelo de ecuaciones estructurales.

Posteriormente se detalla los resultados alcanzados con el desarrollo de un primer meta-análisis sobre las experiencias de organizaciones y usuarios de la metodología, logrando determinar 16 factores críticos de éxito a nivel mundial que en los últimos años han incrementado su uso. También se describe los resultados de un segundo meta-análisis donde se determina las 17 herramientas y técnicas de seis sigma que son las más utilizadas por los usuarios de las cuales 13 de ellas han incrementado su uso en los últimos años, de un total de 124 herramientas y técnicas que se mencionan en la literatura. Además se muestra los resultados de la aplicación y validación de un instrumento para acopiar información sobre los factores críticos de éxito específicamente de usuarios de Baja California. También en este apartado de resultados, se muestra el desarrollo de un modelo de ecuaciones estructurales que describe 9 factores y sus relaciones que incrementan las posibilidades de éxito al implementar seis sigma en empresas del estado.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones son mostradas, destacando que los resultados son consistentes en gran parte con la literatura mundial, pero con diferencias particulares propias de la cultura empresarial del estado de Baja California.

Palabras Clave: *Seis sigma, Factores Críticos de Éxito, Modelación de Ecuaciones Estructurales, Meta-análisis.*

A mi madre **Ana Graciela**,
a mi esposa **Dora Luz**
y a mi hija **Sofía**.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme salud para alcanzar mis metas, por ayudar a levantarme cuando he caído y motivarme a no rendirme nunca, gracias por darme una hermosa familia.

A mi madre **Ana Graciela**, por la vida que me has dado, por todos los consejos, regaños y palabras de aliento que me brindas, gracias por ser mi ejemplo de vida, gracias por ser mi mamá.

A mi esposa **Dora Luz**, por todo tu apoyo, paciencia y motivación para seguir adelante en mis estudios.

A mi hija **Sofía**, que sin saberlo me motivas a ser mejor persona día con día, gracias por las alegrías y fuerzas que me brindas para perseverar y no claudicar en los momentos difíciles.

A mi Papá **Jesús**, mi hermano **Jesús Francisco**, mi hermana **Ana Erendira**, y a toda mi familia por darme tantos momentos de felicidad y por respaldarme todo el tiempo.

Al Dr. **Jaime Sánchez Leal**, por haberme orientado y apoyado en este camino de la vida profesional.

A los Doctores **Manuel Rodríguez Medina**, **Jorge García Alcaraz**, **Enrique De La Vega Bustillos** y **Rafael García Martínez** por su apoyo y valiosos comentarios en todo el desarrollo de esta investigación.

Agradezco especialmente a mis amigos **Yolanda Báez**, **Jorge Limón**, **Julián Aguilar**, **Jesús Salinas**, **Everardo Inzunza**, **Luis Juárez** y **Pablo Rousseau**, por la amistad sincera y valiosa que me han brindado dentro y fuera de la FIAD; gracias por compartir su experiencia, tiempo y consejos conmigo.

Al Dr. **Juan Iván Nieto Hipólito**, al Dr. **Juan de Dios Sánchez** y a todo el personal directivo de la FIAD por el apoyo y la asesoría brindada para el desarrollo de este trabajo doctoral.

Al Dr. **Oscar Roberto López Bonilla** por brindarme su apoyo y motivación para realizar estos estudios doctorales.

Al personal de la FIAD: **Luisa**, **Martha**, **Sarita** y **Eliud** por toda la ayuda brindada durante este tiempo.

A la **Secretaría de Educación Pública-PROMEP**, por su apoyo para realizar el proyecto de investigación con identificación IDCA 10526.

A la **Universidad Autónoma de Baja California** y en especial a la **Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño**, por darme tanto en mi vida profesional y personal; gracias a todos mis compañeros.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Contexto de la Investigación	4
1.3 Planteamiento del Problema	7
1.4 Preguntas de Investigación	7
1.5 Hipótesis	8
1.6 Objetivos	8
1.7 Justificación	9
1.8 Delimitación y Limitación	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 La Metodología Seis Sigma	10
2.1.1 Seis Sigma y su Éxito Inicial	11
2.1.2 La Calidad y El Seis Sigma	11
2.1.3 Las Fases de Seis Sigma	11
2.1.4 Seis Sigma como Métrico	12
2.1.5 Seis Sigma como Meta	13
2.1.6 Seis Sigma como Metodología	13
2.1.7 Seis Sigma como Sistema de Administración	14
2.1.8 Estructura Organizacional de Seis Sigma	14
2.2 Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma	14
2.2.1 Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección	15
2.2.2 Entrenamiento y Educación	15
2.2.3 Habilidad en la Administración de Proyectos	16
2.2.4 Cambio Cultural	16
2.2.5 Vinculación de Seis Sigma con Proveedores	17
2.2.6 Vinculación de Seis Sigma con Recursos Humanos	17
2.2.7 Vinculación de Seis Sigma a los Clientes	18
2.2.8 Seguimiento y Control de Proyectos	18
2.2.9 Comunicación del Equipo	19

2.2.10 Selección y Priorización de Proyecto	19
2.2.11 Entender el Método, Herramientas y Técnicas	20
2.2.12 Ligar Seis Sigma con la Estrategia del Negocio	21
2.2.13 Infraestructura Organizacional	21
2.2.14 Enfoque en Objetivos	22
2.2.15 Liderazgo en Proyectos Seis Sigma	22
2.2.16 Involucramiento del Equipo	23
2.2.17 Selección del Equipo	23
2.2.18 Sistema de Datos	23
2.2.19 Enfoque al Balance Financiero	24
2.2.20 Enfoque Estructurado	24
2.3 Las Herramientas y Técnicas de Seis Sigma	25
2.4 La Técnica del Meta-Análisis	28
2.4.1 Definiciones de Meta-Análisis	28
2.4.2 Utilidad del Meta-Análisis	29
2.4.3 Tipos de Meta-Análisis	29
2.4.4 Etapas del Meta-Análisis	30
2.4.5 Limitación del Fenómeno de Interés	30
2.5 Instrumento de Recolección de Datos	31
2.5.1 Generación de Constructos	31
2.5.2 Confiabilidad y Validez de la Escala de Medición	32
2.5.3 Índice de Alfa de Cronbach.	32
2.5.4 Validez de la Calificación	33
2.6 Modelación de Ecuaciones Estructurales.	34
2.6.1 Conceptos y Estrategias de Modelación	35
2.6.1.1 Tipos de Variables	37
2.6.1.2 Tipos de Errores	38
2.6.1.3 Representación Gráfica de los Modelos de Ecuaciones Estructurales	38
2.6.2 Especificación de Modelo	39
2.6.3 Identificación del Modelo	40
2.6.3.1 Modelo Estructural	40
2.6.3.2 Modelo de Medición	41
2.6.4 Estimación de Modelo	44
2.6.4.1 Supuestos del Modelo	44

2.6.4.2 Prueba de Ajuste del Modelo	46
2.6.4.2.1 Índices de Ajuste Absoluto	46
2.6.4.2.2 Índices de Comparación de Modelos	47
2.6.4.2.3 Índices de Ajuste de Parsimonia	47
2.6.4.3 Criterio de Ajuste por Parámetros	48
2.6.5 Modificación del Modelo	48
2.6.6 Validación del Modelo	49
3. METODOLOGÍA	50
3.1 Determinación de los Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma Más Utilizados por los Usuarios en la Literatura	51
3.1.1 Literatura sobre Factores Críticos de Éxito	51
3.1.2 Comparación de Proporciones entre Periodos	51
3.1.3 Meta-Análisis de los Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma	51
3.2 Determinación de las Herramientas y Técnicas de Seis Sigma Más Utilizadas por los Usuarios en la Literatura.	54
3.2.1 Literatura Sobre Herramientas y Técnicas de Seis Sigma	54
3.2.2 Comparación de Proporciones entre Periodos	54
3.2.3 Meta-Análisis de Herramientas y Técnicas de Seis Sigma	55
3.3 Generación de Constructo	56
3.3.1 El Constructo Éxito	56
3.3.2 Constructo Visión Directiva	57
3.3.3 Constructo Estrategia de Implementación	58
3.3.4 Constructo Equipo Colaborativo	59
3.4 Desarrollo de Instrumento de Recolección de Datos.	61
3.4.1 Población Objetivo	61
3.4.2 Aplicación de Instrumento	63
3.4.3 Confiabilidad del Instrumento y Escala de Medición	63
3.4.4 Validez del Instrumento y la Calificación	63
3.5 Modelación de Ecuaciones Estructurales	64
3.5.1 Especificación de Modelo	64
3.5.2 Identificación de Modelo	66
3.5.2.1 Generación del Modelo Estructural	66
3.5.2.2 Generación del Modelo de Medición	67
3.5.2.3 Generación de Modelo de Ecuaciones Estructurales	69

3.5.3 Estimación de Modelo	70
3.5.4 Modificación del Modelo	71
3.5.5 Validación del Modelo	71
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
4.1 Meta-Análisis de Factores	72
4.2 Meta-Análisis de Herramientas y Técnicas de Seis Sigma	78
4.3 Resultados del Instrumento de Obtención de Datos	85
4.3.1 Población Objetivo	85
4.3.2 Aplicación de Instrumento	87
4.3.3 Confiabilidad del Instrumento y Escala de Medición	89
4.3.4 Validez del Instrumento y la Calificación	90
4.4 Resultados del Modelo de Ecuaciones Estructurales de los Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma.	92
4.4.1 Estimación de Modelo	93
4.4.2 Modificación del Modelo	97
4.4.3 Validación del Modelo	98
4.5 Resultado de las Hipótesis	100
4.5.1 Factores que Intervienen en la Implementación Exitosa de Seis Sigma.	100
4.5.2 Agrupamiento de Factores que Intervienen en la Implementación Exitosa de Seis Sigma	103
4.5.3 Constructo Visión Directiva	103
4.5.4 Constructo Estrategia de Implementación	103
4.5.5 Constructo Equipo Colaborativo	104
4.5.6 Variables que Caracterizan el Éxito al Implementar Seis Sigma	104
4.5.7 Relación Entre los Factores para Explicar Éxito al Implementar Seis Sigma	104
4.5.8 Herramientas y técnicas más utilizadas	106
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
5.1 Conclusiones	108
5.2 Recomendaciones	111
5.2.1 Trabajo Futuro	112
6. REFERENCIAS	114
7. ANEXOS	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentajes de Artículos que Mencionan 13 Factores de Éxito Según Brady y Allen (2006)	3
Figura 2. Fases de un Modelo de Ecuaciones Estructurales, Elaboración Propia a Partir de Schumaker y Lomax 2010.	36
Figura 3. Representación Gráfica de Variables en la Modelación de Ecuaciones Estructurales.	39
Figura 4. Ejemplo de Modelo de Medición de las Variables Latentes Exógenas.....	43
Figura 5. Ejemplo de Modelo de Medición de las Variables Latentes Endógenas	43
Figura 6. Modelo Inicial de la Investigación.	64
Figura 7. Constructo Éxito al Implementar Seis Sigma.....	64
Figura 8. Constructo Visión Directiva.	65
Figura 9. Constructo Estrategia de Implementación.....	65
Figura 10. Constructo de Equipo Colaborativo.	65
Figura 11. Modelo Estructural del Objeto de Investigación.....	66
Figura 12. Modelo de Medición de las Variables Latentes Exógenas.....	67
Figura 13. Modelo de Medición de las Variables Latentes Endógenas	68
Figura 14. Modelo de Ecuaciones Estructurales Propuesto	69
Figura 15. Países de Origen de Literatura Sobre Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma	72
Figura 16. Países de Origen de la Literatura Sobre Herramientas y Técnicas de Seis Sigma.....	78
Figura 17. Empresas de Manufactura en Ensenada (Elaboración Propia con Información de SEDECO 2012)	85
Figura 18. Empresas de manufactura en Mexicali (Elaboración Propia con información de SEDECO 2012)	86
Figura 19. Empresas de Manufactura en Tecate (Elaboración Propia con información de SEDECO 2012)	86
Figura 20. Empresas de Manufactura en Tijuana (Elaboración Propia con información de SEDECO 2012)	86
Figura 21. Tipo de Certificación de Usuarios Seis Sigma en Baja California	87
Figura 22. Número de Miembros de Equipos Seis Sigma en Baja California.....	87
Figura 23. Tipo de Empresas Donde Laboran los Usuarios de Seis Sigma en Baja California.....	88
Figura 24. Frecuencia del seguimiento a Proyectos Seis Sigma en Baja California	88
Figura 25. Modelo Propuesto con Estimados de Parámetros A Través de Amos 17	94
Figura 26. Relaciones Entre Factores que Explican el Éxito al Implementar Seis Sigma	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Establecimientos de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación en México. Elaboración Propia a Partir del Banco de Información Económica INEGI (2011).	4
Tabla 2. Personal Ocupado de la Industria Manufacturera, Maquiladora y Servicios de Exportación. Elaboración Propia a Partir del Banco de Información Económica del INEGI (2011).	5
Tabla 3. Personal Ocupado en la Industria Manufacturera en Baja California. Elaboración Propia a Partir del Banco de Información Económica del INEGI (2011).	6
Tabla 4. Herramientas Propuestas por Kumar y Antony.	26
Tabla 5. Herramientas Propuestas por Pantano.	26
Tabla 6. Herramientas Propuestas por Kovach et al.	27
Tabla 7. Herramientas Propuestas por Bunce et al.	27
Tabla 8. Reactivos Sobre la Importancia de los Factores Críticos de Éxito.	62
Tabla 9. Factores Críticos de Éxito por Periodo.	73
Tabla 10. Intervalos de Confianza de la Diferencias de Proporciones de FCE.	74
Tabla 11. Razón Odd de los Factores Más Reportados en el Periodo 2.	75
Tabla 12. Razón Odd para FCE Menos Reportados en el Periodo 2.	75
Tabla 13. Cálculos de Meta-análisis de 16 Factores Críticos de Éxito que Incrementan su Uso del Periodo 1 al Periodo 2.	76
Tabla 14. Cálculos de Meta-análisis de 4 FCE que Decrecen su Uso del periodo 1 al Periodo 2.	77
Tabla 15. Herramientas y Técnicas en Periodos.	79
Tabla 16. Intervalos de Confianza para la Diferencia de Proporciones entre Periodos de HyT.	80
Tabla 17. Número de Citas de las HyT en la Literatura en el Periodo 2.	81
Tabla 18. Odds de las HyT por Periodos.	82
Tabla 19. Cálculos de Meta-análisis de Herramientas y Técnicas Grupo A.	83
Tabla 20. Cálculos de Meta-análisis de Herramientas y Técnicas Grupo B.	84
Tabla 21. Confiabilidad de los Reactivos para Medir la Importancia.	89
Tabla 22. Confiabilidad de la Escala Éxito con 5 Elementos.	89
Tabla 23. Confiabilidad de la Escala al Eliminar Diferentes Elementos.	89
Tabla 24. Índice de Confiabilidad de la Escala Éxito.	90
Tabla 25. Índice KMO y Prueba de Barlett Obtenidos.	90

Tabla 26. Comunalidades de los Factores Obtenidos por Componentes Principales.	91
Tabla 27. Varianza Total Explicada por Componentes Utilizando Componentes Principales.	91
Tabla 28. Matriz de Componentes Rotados Utilizando Normalización Varimax del Software SPSS 17..	92
Tabla 29. Sesgo y Curtosis para Determinar Normalidad.....	93
Tabla 30. Resumen de Índices de Ajuste de Modelo	95
Tabla 31. Índices de Comparación de Modelos.	95
Tabla 32. Resumen de Índices de Parsimonia.	95
Tabla 33. Estimados de Coeficientes de Regresión del Modelo Propuesto.	96
Tabla 34. Estimados de Varianzas del Modelo Propuesto.	97
Tabla 35. Residuales de Covarianzas Estandarizados.....	98
Tabla 36. Tamaño de Muestra N Crítica de Hoelter.....	98
Tabla 37. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra A.....	99
Tabla 38. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra B.....	99
Tabla 39. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra C.....	99
Tabla 40. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra D	99

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas buscan diversas metodologías de trabajo, tanto para aumentar la calidad de sus productos, procesos y servicios, como para reducir costos, esto con la finalidad de mantenerse competitivos en un mercado tan globalizado. Una de estas metodologías internacionalmente aceptadas es Seis Sigma (SS), la cual ha sido adoptada por varias empresas para la reducción de la variación de sus procesos y productos. Pioneros en su aplicación son empresas como General Electric y Motorola, que alcanzaron beneficio económico y reconocimiento a la calidad de sus productos de manera sorprendente en la década de los 80's y principio de los 90's. A raíz de esto, muchas otras compañías en todo el mundo han implementado seis sigma, algunas de ellas con un gran éxito, otras con mediano y en otras ocasiones sin obtener logros esperados o inclusive con fracaso que repercute en descontento, desconfianza y decepción entre los inversionistas y trabajadores hacia la metodología.

En la presente década se ha incrementado en México el número de empresas que emplean seis sigma, principalmente grandes trasnacionales de bienes (Primitivo, 2002), sin embargo la metodología comienza a ser aplicada en otros sectores y puede ser aplicada inclusive en pequeñas y medianas empresas. Específicamente en Baja California no se tiene mucha información sobre su aplicación, al respecto López (2001) indica que en Mexicali, Baja California, las empresas de mayor tamaño utilizan la metodología, esto sin tener listado de ellas, debido a que son procesos internos y se limita su divulgación. Sin embargo, en un sondeo que realizó el autor encontró que el 60% sí la implementa.

La presente propuesta de investigación aborda la problemática de aplicar eficientemente la metodología seis sigma en la industria y consiste primeramente en analizar la experiencia adquirida por las organizaciones al implementar un proyecto seis sigma, a través de la revisión sistemática de información obtenida de artículos de revistas científicas, bibliografía especializada y casos de estudio. Después, a partir de este análisis se determinan los factores críticos de éxito vigentes. Con esta información se desarrolla un instrumento para acopiar información sobre los factores críticos de éxito en organizaciones de Baja California para posteriormente presentar un modelo que explica la relación entre los factores importantes de esta metodología y los beneficios obtenidos al implementarse.

1.1 Antecedentes

Como metodología popular desde mediados de los 80's, seis sigma presenta una variada y enorme cantidad de información que prácticamente hace imposible a las personas que implementan la metodología, el poder revisar una cantidad considerable de la literatura. A través de seis sigma, muchas compañías han logrado ganancias económicas importantes y mejorado la relación e imagen con sus clientes. Sin embargo, no todas las organizaciones han experimentado el mismo éxito (Breyfogle, 2003), ya que según David Fitzpatrick (2002), el número de compañías que no tuvieron éxito es menor al 10% (Bañuelas & Antony, 2002). En un sentido similar, Kanani (2006) encontró que 144 de 181 proyectos SS implementados en una compañía fueron exitosos, esto sugiere una

proporción de 20% de proyectos no exitosos. Por su parte, Gray y Anantatmula (2009), encontraron en su estudio que el 67% de los encuestados han experimentado fallas al implementar proyectos SS; ellos identificaron varias razones de falla como son: error para identificar y administrar a las partes interesadas y sus expectativas, procesos inadecuados de selección de proyectos, incapacidad para alinear proyectos con las prioridades críticas de la organización entre otras.

Para evitar fallas es importante conocer de experiencias pasadas. Cooke-Davis (2002) argumentan, que aprender de la experiencia, es en sí otro Factor Crítico de Éxito (FCE). En ese sentido, las organizaciones pueden tener diferentes referencias de éxito para sus proyectos seis sigma, esto como resultado de niveles divergentes de maduración en el despliegue de sus iniciativas (Shenhar et al., 1997). Así, el término éxito es utilizado para definir el nivel en el cual los resultados planificados fueron alcanzados. Esta definición es aplicable a diferentes tipos de proyectos y cubre el dominio de proyectos exitosos para organizaciones con diferentes niveles de desarrollo de seis sigma (Anand et al., 2009). El FCE es indispensable para el éxito de cualquier organización en el sentido que, si los objetivos asociados con el factor no son alcanzados, la organización fallará (Rockart, 1979). En el mismo sentido, Antony y Bañuelas (2002) indican que en el contexto de implementación de SS, los FCE representan los ingredientes esenciales, que de no tenerse, habrá pocas posibilidades de éxito. Además Antony y Bañuelas (2002) presentan información que no coincide e incluso existen resultados contradictorios; esto es similar a metodologías como administración total de la calidad, ISO 9001 y manufactura esbelta. Al respecto, varios autores han realizado revisión de literatura sin llegar a unificar los criterios del tema. Antony y Bañuelas (2002), así como Bañuelas et al. (2002) presentan lo que a su ver son los factores que permiten una implementación exitosa de seis sigma:

- Compromiso e involucramiento de la dirección;
- Entendimiento de la metodología seis sigma, las herramientas y sus técnicas;
- Ligar seis sigma a la estrategia del negocio;
- Ligar seis sigma con los clientes;
- Selección, revisión y seguimiento de proyecto;
- Infraestructura organizacional;
- Cambio de cultura;
- Habilidad para administración de proyecto;
- Ligar seis sigma a proveedores;
- Entrenamiento.

Adicionalmente Wyper y Harrison (2000), resaltan la importancia de *ligar seis sigma a los recursos humanos*. Por su parte, Lee (2002) realizó encuestas a usuarios de seis sigma, encontrando una serie de factores donde destaca el *compromiso de la gerencia* como el más importante a considerar, seguido del *uso de herramientas estadísticas/analíticas, capacidad de administración de los participantes, procesos administrativos, personalidad de black belt* y programas de entrenamiento en seis sigma. A su vez Hahn (2005), indica que el *compromiso total de la gerencia, una apropiada infraestructura, involucramiento de personal clave* y un *correcto entrenamiento* son la base para la implementación

exitosa de seis sigma. Esto crea expectación y según el autor debe ser cubierta rápidamente (menos de 3 meses) con la finalidad de mantener el *'momentum'*. En un sentido similar, un estudio conducido por Kanani (2006) en una empresa automotriz a cerca de 181 proyectos seis sigma, encontró que 144 de ellos fueron exitosos al cumplirse lo proyectado y que 37 no lo fueron porque no se terminaron o porque a pesar de resultados positivos, éstos no se pudieron mantener. Esto último habla de una considerable proporción de proyectos considerados como no exitosos en su aplicación de alrededor del 20%. Al respecto Kanani (2006) propone los factores para el éxito de seis sigma: *selección de proyecto, asignación adecuada de champion, black belt y green belt, terminar el proyecto entre 3 y 6 meses, soporte a los participantes y control administrativo del tiempo.*

Otro punto de vista es el de Kwak y Anbari (2006), quienes sugieren los siguientes factores:

- Involucramiento de la dirección,
- Compromiso organizacional,
- Administración de proyectos,
- Habilidades de control,
- Cambio de cultura,
- Entrenamiento continuo.

Brady y Allen (2006) encontraron “consenso parcial” acerca de FCE, y es que como en el caso de compromiso/involucramiento de la dirección no todos los autores coinciden con este factor como el más importante, ellos revisaron 201 artículos y encontraron que el 27% de ellos mencionan al menos un factor de éxito de seis sigma, a su vez el 50% de ellos mencionan al compromiso de la alta gerencia como el factor más importante, seguido de 12 factores más que se muestran en la Figura 1.

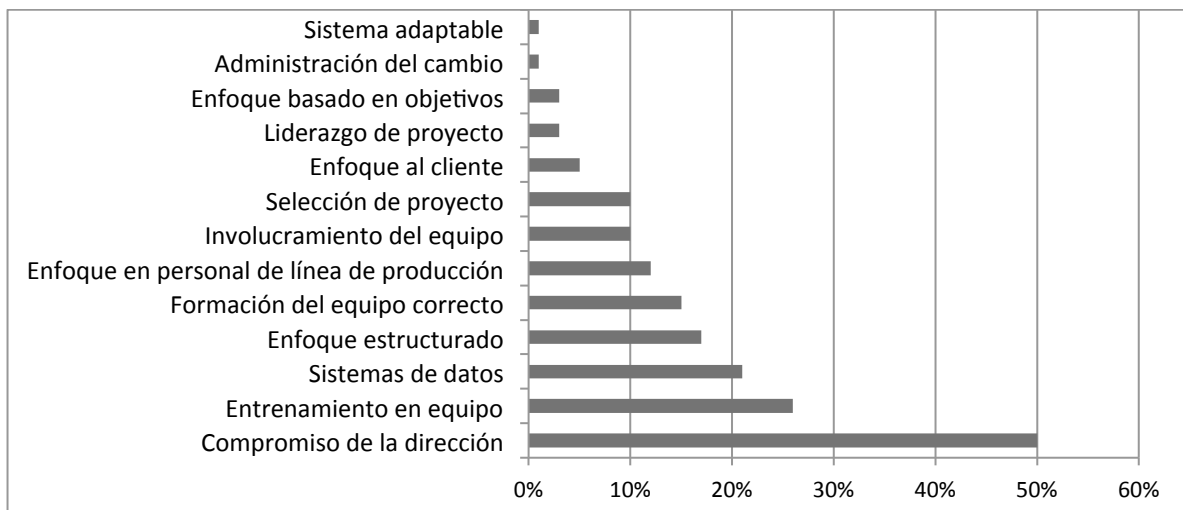


Figura 1. Porcentajes de Artículos que Mencionan 13 Factores de Éxito Según Brady y Allen (2006)

Los autores que hablan sobre los objetivos que persigue seis sigma, también tienen diferentes opiniones, por ejemplo, el énfasis en beneficios económicos para la organización se observa con Harry (1998) y Hahn et al. (1999), y está ligado al factor de éxito del compromiso de la dirección. Por su parte Zhao (2005), menciona que el principal objetivo es mejorar la satisfacción del cliente y con esto las ganancias por medio de la reducción de defectos e incrementando el nivel de calidad. Para Brady y Allen (2006) el objetivo de seis sigma es el uso universal y multidisciplinario de las técnicas estadísticas y su contribución al mundo de los negocios.

A su vez, como método, seis sigma no está exento de dificultades, por ejemplo, respecto al tiempo para ver grandes resultados, Harry (2000) plantea que para pasar de cuatro a seis sigma se requiere de 5 años. Chakrabarty y Tan (2007), en su análisis encontraron algunas dificultades comunes con seis sigma, como son: método de colección de datos, tiempo de colección de datos, identificar parámetros de proceso y el tiempo invertido. En general no hay un consenso sobre qué factores y herramientas deben tomarse en cuenta, aprenderse y ser usados por los usuarios de seis sigma o por *black belts* (Brady & Allen, 2006). Con lo anterior, es motivo de resaltar las oportunidades actuales para obtener concesos de la teoría de seis sigma, identificar, evaluar y proponer qué factores se deben de tomar en cuenta en seis sigma, para su implementación exitosa.

1.2 Contexto de la Investigación

La región fronteriza de México con Estados Unidos de América donde se ubica Baja California, cuenta con una gran cantidad de empresas de la industria manufacturera, la cual se define como la actividad económica que transforma una gran diversidad de materias primas en diferentes artículos para el consumo (INEGI, 2005). Basado en el banco de información económica INEGI (2011), en la Tabla 1 se muestran las 17 principales entidades en cuanto a establecimientos registrados en la industria manufacturera, maquiladora y de servicios de exportación (IMMEX) en México, destacando que en 2011, Baja California ocupa el primer lugar con 937, seguido de Nuevo León con 661 y Chihuahua con 480, lo que habla de la vocación del estado.

Tabla 1. Establecimientos de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación en México. Elaboración Propia a Partir del Banco de Información Económica INEGI (2011).

Entidad	Oct-07	Oct-08	Oct-09	Oct-10	Oct-11
Baja California	1027	1022	980	935	937
Nuevo León	602	642	657	673	661
Chihuahua	475	487	487	475	480
Coahuila	377	386	386	374	377
Tamaulipas	405	402	386	371	362
México	301	312	318	314	299
Otras entidades	308	319	311	291	289
Jalisco	250	264	275	266	262
Sonora	254	254	252	244	248

Entidad	Oct-07	Oct-08	Oct-09	Oct-10	Oct-11
Guanajuato	197	207	215	214	227
Puebla	227	220	214	204	195
Querétaro	171	181	186	190	186
Distrito Federal	141	141	132	134	134
San Luis Potosí	127	133	133	132	123
Aguascalientes	79	79	81	83	86
Yucatán	96	89	83	83	83
Durango	65	68	67	76	73
Veracruz	59	63	72	64	62
TOTAL NACIONAL	5161	5269	5235	5123	5084

Por otra parte, en la Tabla 2 se muestra que Baja California al mes de octubre de 2011, es el tercer estado con mayor cantidad de personal ocupado en el sector manufacturero con 224,029 personas. Asimismo, en la Tabla 3, se muestran la distribución para octubre de 2011 del personal ocupado en el sector manufacturero a nivel estatal, donde se aprecia que la ciudad de Tijuana ocupa el primer lugar con 150,964, seguido de Mexicali con 47,259, Ensenada con 16,117 personas y Tecate con 9,689.

Tabla 2. Personal Ocupado de la Industria Manufacturera, Maquiladora y Servicios de Exportación. Elaboración Propia a Partir del Banco de Información Económica del INEGI (2011).

Entidad	oct-07	oct-08	oct-09	oct-10	oct-11
Total nacional	1956992	1837033	1637329	1834068	1888444
Chihuahua	300369	265731	234507	253082	255538
Nuevo León	200444	199384	186065	221755	232640
Baja California	265228	246514	207128	225717	224029
Coahuila	164543	151553	137578	160421	182727
Tamaulipas	186729	172064	142387	163959	159389
México	119044	113724	102492	119411	118653
Jalisco	104555	104922	95155	102744	105647
Sonora	105808	91821	84416	98817	97427
Guanajuato	68840	65491	64217	70766	76795
Puebla	76501	73587	65145	71526	73216
Querétaro	51948	51045	45254	55109	58723
San Luis Potosí	44551	42434	39911	46256	49638
Distrito Federal	61098	58746	51186	51553	48393
Aguascalientes	37324	38506	35910	37796	40273
Durango	23001	21108	20345	20342	22506
Yucatán	27635	24457	21035	21384	19820
Veracruz	17107	18457	18278	17256	18083
Resto	102267	97489	86320	96174	104947

Tabla 3. Personal Ocupado en la Industria Manufacturera en Baja California. Elaboración Propia a Partir del Banco de Información Económica del INEGI (2011).

Periodo	oct-07	oct-08	oct-09	oct-10	oct-11
Ensenada	16411	16467	14043	15516	16117
Mexicali	56611	54193	44781	48670	47259
Tecate	10449	11147	9218	9737	9689
Tijuana	181757	164707	139086	151794	150964

Específicamente en Baja California, según el directorio empresarial de la secretaría de desarrollo económico, existen alrededor de 1220 empresas dedicadas a la manufactura en general (incluyendo las registradas como IMMEX) y distribuidas de la siguiente manera: Ensenada 178, Mexicali 209, Tecate 88 y Tijuana 745 (SEDECO, 2009). Estas empresas, debido a su giro, necesitan reducir la variación de sus procesos y productos con miras a mantenerse competitivas a nivel mundial. Esto marca la necesidad de que al implementar un proyecto seis sigma, éste realmente termine en beneficio para la organización.

Respecto a la metodología seis sigma, ésta consta de cinco fases que incluyen una serie de factores y herramientas a considerar por parte de las empresas. En este sentido hay una gran variedad de formas en que se puede implementar, sin embargo no todas terminan en resultados benéficos para la organización. En años recientes, los proyectos seis sigma son cada vez más alejados de lo que General Electric, Motorola y Allied Signal diseñaron (McManus, 2008). Lo anterior explica la evolución que ha tenido esta metodología al irse mejorando las herramientas que la componen, al incrementarse la información disponible de la misma y a la evolución de la tecnología entre otras consideraciones. Además, la literatura de seis sigma es bastante amplia, solo en artículos arbitrados e indexados hay alrededor de 2000¹, aproximadamente 300 libros² y una gran cantidad de casos de aplicación publicados en otras fuentes, lo cual resulta abrumador para el sector industrial, el poder hacer una revisión literaria.

Ante este contexto, es importante identificar bajo qué consideraciones se obtienen mejores beneficios. Esta necesidad coincide con varios autores, por ejemplo respecto a estudios sobre estrategias de implementación exitosas de seis sigma en otras partes del mundo, estos han sido muy pocos, en este sentido Nonthaleerak y Hendry (2006) sugiere que se hagan estudios, especialmente fuera de U.S.A. con lo que se podría determinar diferencias en la implementación, como aquellas causadas por aspectos culturales. En este sentido, los conceptos de seis sigma y sus herramientas han demostrado su utilidad en la industria, sin embargo, los estilos y la variación en que los proyectos seis sigma son formulados y ejecutados dejan una gran área de oportunidad (Gray & Anantatmula, 2009).

¹ Bases de datos consultadas: Ebsco host, Elsevier, Taylor & Francis, Inderscience, IEEE, Blackwell (2010)

² Ebrary, pearson, amazon (2011)

Asimismo, Nonthaleerak y Hendry (2006) argumentan que se requiere el desarrollo de un modelo seis sigma que incorpore factores críticos de éxito en el contexto de las culturas nacionales; mismo punto de vista que Crom (2000), quien resalta la importancia de adaptar seis sigma de acuerdo a las características culturales y regionales de cada país.

Así pues, la investigación surge debido a que seis sigma se implementa en empresas transnacionales y en la actualidad en nacionales del estado de Baja California, de las cuales en algunas de ellas no se obtienen los resultados deseados, esto por varios factores que se desean determinar así como los factores que sí contribuyen al éxito de la metodología. Actualmente no se ha encontrado un estudio sistemático similar, lo cual plantea la necesidad de realizar una investigación sobre la información científica disponible de seis sigma en la literatura, así como de los factores a considerar que aumenten las posibilidades de una implementación exitosa de seis sigma en empresas de Baja California.

1.3 Planteamiento del Problema

En general, al implementar seis sigma, las empresas presentan resultados positivos, sin embargo, no todas las organizaciones han experimentado el mismo éxito (Breyfogle, 2003), ya que según David Fitzpatrick (2002), el número de compañías que no tuvieron éxito es cercana al 10% (Bañuelas y Antony, 2002). En un sentido similar, Kanani (2006) encontró en su estudio que cerca del 20% de proyectos no fueron exitosos. Por su parte, Gray y Anantatmula (2009), encontraron en su trabajo que el 67% de los encuestados han experimentado fallas al implementar proyectos SS.

Ante este contexto, en Baja California se está implementado la metodología seis sigma en algunas empresas y dado que no se encontró información sobre la implementación de seis sigma en el estado, esto plantea la necesidad de determinar los factores y sus relaciones a considerar, así como información que incremente las posibilidades de éxito al implementar seis sigma.

1.4 Preguntas de Investigación

Las preguntas que se plantean a continuación buscan orientar la investigación.

- 1 ¿Qué factores intervienen en la implementación exitosa de seis sigma en empresas de Baja California en la actualidad?
- 2 ¿De qué forma se agrupan los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma?
- 3 ¿Cuál es la relación que guardan entre sí los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma?
- 4 ¿Cuáles son las variables que caracterizan el éxito al implementar seis sigma?
- 5 ¿Cuáles son las herramientas más utilizadas en la actualidad en la metodología seis sigma?

1.5 Hipótesis

- 1 Los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma en empresas de Baja California en la actualidad son: *infraestructura organizacional, involucramiento de la dirección, selección del proyecto, enfoque al cliente, administración de proyecto, ligar seis sigma a proveedores, enfoque en objetivos, ligar seis sigma a recursos humanos, seguimiento de proyectos, involucramiento de equipo, comunicación del equipo, compensación, educación y entrenamiento, y cambio cultural.*
- 2 Los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma, se agrupan en los constructos visión directiva, estrategia de implementación y equipo colaborativo.
- 3 Los factores *infraestructura organizacional, involucramiento de la dirección, selección del proyecto, y enfoque al cliente* son explicados por el constructo visión directiva.
- 4 Los factores *administración de proyecto, ligar seis sigma a proveedores, enfoque en objetivos, ligar seis sigma a recursos humanos, y seguimiento de proyectos* son explicados por el constructo estrategia de implementación.
- 5 Los factores *involucramiento de equipo, comunicación del equipo, compensación, educación y entrenamiento, y cambio cultural* son explicados por el constructo equipo colaborativo.
- 6 Las variables que caracterizan el éxito al implementar seis sigma son: *reducción de la variación, experiencia y autoestima*, así como *mejora de calidad*.
- 7 Existe una relación lineal del constructo visión directiva que explica al constructo estrategia de implementación que explica al constructo equipo colaborativo que a su vez explica el constructo éxito al implementar un proyecto seis sigma.
- 8 Las herramientas que más se utilizan en la actualidad en seis sigma son: *repetibilidad y reproducibilidad, capacidad de proceso, gráficos de control, diseños factoriales, regresión y correlación, matriz causa-efecto, análisis del modo y efecto de falla, y plan de control.*

1.6 Objetivos

Objetivo general.

Desarrollar un modelo que explique la relación de los factores que incrementan las posibilidades de éxito al implementar seis sigma en empresas de Baja California.

Objetivos específicos.

- 1 Determinar los factores que más intervienen en la implementación exitosa de seis sigma en empresas de Baja California en la actualidad.
- 2 Determinar cómo se agrupan los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma.
- 3 Determinar la relación entre los factores que más intervienen para la implementación exitosa de seis sigma en Baja California.
- 4 Generar un modelo explicativo de los factores de seis sigma y su interrelación.
- 5 Determinar las herramientas y técnicas más utilizadas de seis sigma en la actualidad.

1.7 Justificación

La presente disertación busca cubrir la necesidad de determinar las herramientas, factores y la relación entre estos que incremente las posibilidades de éxito al implementar seis sigma en empresas de Baja California, con la posibilidad de mejorar la productividad de las empresas y la calidad de los productos y servicios que ellas realizan. Actualmente no se ha encontrado alguna revisión sistemática y científica de todos los componentes de la metodología seis sigma como se realiza en esta disertación, esto en base a la experiencia manifestada en publicaciones científicas consultadas, por lo que se justifica abordar esa área de oportunidad y se confirma como investigación doctoral inédita. Por lo anterior expuesto, se observa una justificación práctica ya que no hay ningún estudio de este tipo en la actualidad y una justificación técnica ya que aporta información metodológica a considerar al implementar proyectos seis sigma. Adicionalmente, La presente disertación unifica criterios y detalla los factores, así como las herramientas y técnicas de seis sigma que más contribuyen a las empresas en la actualidad. Asimismo aporta un modelo que describe las condiciones a considerar para incrementar las posibilidades de éxito al implementar la metodología, con lo que se amplía el conocimiento desde el punto de vista de la ingeniería industrial.

1.8 Delimitación y Limitación

La presente investigación se ocupa de la metodología seis sigma, sus técnicas, herramientas y los factores que influyen en la aplicación exitosa, y se delimita a información disponible en artículos de revistas, bibliografía, tesis y memorias en idioma inglés y español, así como a usuarios de seis sigma en el estado de Baja California. La falta de acceso al 100% de las bases de datos se consideró la principal limitante para la realización de este trabajo, sin embargo, se pudo acceder a más de 60% de las mismas.

2 MARCO TEÓRICO

En relación a la metodología seis sigma, se dice que ha revolucionado la forma de ver y hacer negocios, y es que hay muchos testimonios de empresas que han experimentado beneficios al implementarla. En este sentido, el presente capítulo presenta información sobre la metodología seis sigma, esto en la primera sección, en la segunda sección se detalla los factores críticos de éxito presentes en la literatura, posteriormente se muestran las herramientas y técnicas que según los autores y usuarios son importantes en la implementación exitosa de seis sigma. En la sección cuatro se aborda la técnica de meta-análisis, así como la generación de instrumentos de obtención de datos en la sección cinco. Por último se aborda la teoría referente a la modelación de ecuaciones estructurales.

2.1 La Metodología Seis Sigma

Referente a la definición de seis sigma (SS), Harry y Schroeder (1999), quienes son considerados como principales desarrolladores de la metodología, la definen como un proceso que permite a las compañías mejorar drásticamente las utilidades mediante el diseño y monitoreo diario de las actividades de la empresa, en formas que minimizan el desperdicio y recursos mientras incrementa la satisfacción del cliente. Esta definición es puntual al destacar el beneficio económico y no el de la calidad del producto, ya que esto se considera implícito al reducir desperdicios, se está logrando mayor utilidad. Una definición similar menciona que SS es la manera inteligente de administrar un negocio o departamento, ya que pone al cliente en primera línea al usar hechos y datos para obtener mejores soluciones (Pande et al. 2002). Para Pyzdek (2003), es una rigurosa, enfocada y altamente efectiva implementación de principios y técnicas probadas de calidad, que busca en las empresas un rendimiento prácticamente sin errores; aquí el autor se enfoca en la parte técnica y no en aspectos financieros de la empresa. Por su parte Brussee (2004), menciona que la metodología usa un enfoque específico de solución de problemas y herramientas para mejorar procesos y productos. Dirgo (2005), la define a su vez como un enfoque para la mejora del negocio que busca encontrar y eliminar causas de errores o defectos en proceso, al enfocarse en las salidas de importancia crítica para clientes.

Como se aprecia, la definición de seis sigma varía de autor en autor; contribuyendo a lo anterior, Linderman et al. (2003) menciona que es un método organizado y sistemático para la mejora estratégica de procesos y el desarrollo de nuevos productos y procesos que depende de métodos estadísticos y del método científico para hacer dramáticas reducciones en las tasas de defecto definidas por los clientes. Es evidente que en esta definición no se menciona los 3.4 defectos por millón de oportunidades, sino que se menciona como una meta y es que según los autores, seis sigma se avoca a establecer metas basadas en los requerimientos de clientes. Contrario a la idea general, el objetivo de seis sigma no es alcanzar niveles de calidad 6σ , su objetivo es mejorar las ganancias; la mejorar la calidad y eficiencia son los subproductos inmediatos (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2000).

Para Brady y Allen (2006), la definición de seis sigma como método, complica la referencia a las técnicas usadas en su aplicación. Ellos proponen llamar submétodos a estas técnicas para clarificar su alcance y con esto resaltar que seis sigma es más que la definición de método. Anteriormente Breyfogle (2003), Harry (1999) y (Pande, Neuman, & Cavanagh, 2000) sugirieron el uso de técnicas específicas para cada fase de la aplicación de seis sigma, sin embargo, como mencionan Brady y Allen (2006), no hay suficiente consenso para asociar técnicas en cada fase, ya que pudiera verse como una restricción indeseable por algunos usuarios. Lo anterior sugiere que no hay un conjunto definido y universalmente aceptado de herramientas de seis sigma.

2.1.1 Seis Sigma y su Éxito Inicial

Bob Galvin director de Motorola junto con Mikel Harry comenzaron a mediados de los 80's a resituar a la empresa en el camino de la calidad utilizando una metodología conocida como seis sigma (Pyzdek, 2003). Usando esta metodología la empresa comenzó a ser líder en calidad y en ganancias al grado de ser un ícono al haber ganado en 1988 el premio Malcom Baldrige de Estados Unidos; pronto el secreto de su éxito comenzó a ser público y más empresas siguieron su camino (Pyzdek, 2003). Empresas como Allied Signal tomaron la bandera seis sigma mejorando la efectividad y la eficiencia al concentrarse en medidas efectivas con los clientes y generando mayor eficiencia por medio de la administración de procesos empresariales y la formación de equipos seis sigma para mejorar su rendimiento (Eckes 2003). Después General Electric implementó también seis sigma a través de Jack Welch, quien en 1995 adoptó la metodología en toda la corporación con tanto éxito económico que para 1998 había generado 750 millones de dólares de ahorros. A pesar del éxito que tuvieron Motorola y Allied Signal, fue General Electric la que empleó esta metodología de una manera más impresionante para mejorar la eficacia y la eficiencia menciona (Eckes 2003).

2.1.2 La Calidad y El Seis Sigma

Para Pyzdek (2003), seis sigma no se refiere a la calidad estrictamente, se refiere a la ayuda que provee a las organizaciones a obtener mayor beneficio económico a través de la mejora del valor de los clientes y de la eficiencia. Esto se relaciona con lo que menciona Dirgo (2005), seis sigma no es una iniciativa para mejorar la calidad, sino una iniciativa para mejorar el negocio. En ese sentido Pyzdek (2003), se refiere a la calidad como el valor agregado por un esfuerzo productivo y lo divide en dos: calidad potencial y calidad actual, la primera es conocida como el valor máximo posible agregado a cada producto. La segunda es el valor actual agregado a cada producto. La diferencia entre la calidad potencial y la actual se conoce como desperdicio. Por lo que seis sigma se enfoca sobre el mejoramiento de la calidad (reducción de desperdicio) ayudando a las organizaciones a generar en tiempo, mejores y más económicos productos y servicios.

2.1.3 Las Fases de Seis Sigma

Respecto a las fases que componen a seis sigma, Shanin (2008) sugiere que la empresa Motorola comenzó solo con Medir (M-Measure), Analizar (A-Analyze), Mejorar (I-Improve), Controlar (C-Control). A estas cuatro fases Snee (2010), indica que la empresa General Electric le agregó Definir (D-

Define) en la década de los 90's, quedando 5 fases DMAIC, lo que la gran mayoría de los autores mencionan (Tobias, 1991), (Harry & Schroeder, 1999), (Antony & Bañuelas, 2002), (Breyfogle, 2003), (Yam, 2006), (Brady & Allen, 2006), (Tang, et al., 2007), (McManus, 2008). Recientemente en el 2005 la manufactura esbelta fue añadida a *Lean seis sigma* para permitir que la metodología mejore el flujo del proceso de manera más efectiva (Snee & Hoerl, 2007).

En el Diseño para Seis Sigma (DFSS, por sus siglas en inglés), Shahin (2008) indica que Motorola también comenzó con las fases de medir, analizar, diseñar y verificar y después se agregó la fase de definir. Las fases que mencionan mayoritariamente los autores son: definir, medir, analizar, diseñar y verificar (DMADV), (Kwak & Anbari, 2006), (Johnson & Gitlow, 2006), (Wang H. , 2008). Hahn (2005) propone una variante que es: definir, medir, analizar, diseñar, optimizar y verificar.

A través del tiempo, la metodología ha evolucionado ampliamente. En la actualidad, cada vez son más las variantes y herramientas que se utilizan en fases específicas. Por ejemplo, la selección del proyecto seis sigma es frecuentemente la más importante y difícil, mencionan Pande et al, (2002); al respecto, Yang y Hsieh (2009) proponen el uso de criterios del premio nacional de calidad (por ejemplo de Taiwan) y el método (*Delphi Fuzzy Multicriteria Decision Making FMCDM*) para seleccionar proyectos seis sigma, cuando se presentan dificultades en la elección del proyecto como información incuantificable, información incompleta, información no obtenible o se tiene ignorancia del proceso. Fit Sigma es otro concepto que implica la adopción de seis sigma y ajustar las necesidades de una organización para mantener el desempeño y esbeltez organizacional. Zhao (2005) propone integrar TRIZ a seis sigma para la innovación; esta herramienta es un método nuevo que combina pensamiento innovador con herramientas analíticas usadas para el diseño de productos, servicios y procesos en una sola operación.

Sin embargo la metodología tiene también connotaciones más específicas, ya que puede considerar un métrico, una meta, una metodología y un sistema de administración.

2.1.4 Seis Sigma como Métrico

En el primer caso, seis sigma es un métrico para medir el rendimiento del proceso y la calidad del producto, donde sigma " σ " es una letra del alfabeto griego usada por los estadistas para medir la variación (desviación estándar del proceso). Tradicionalmente las compañías aceptan tres o cuatro niveles de sigma como una norma, a pesar de que eso representa crear entre 6200 y 67000 defectos por millón de oportunidades (Pysdek, 2003). El valor de sigma es universal, ya que sirve para medir el nivel de calidad de un proceso cualquiera, al respecto Harrold (1999) menciona los niveles comunes de sigmas en diferentes tipos de industria y procesos.

- Servicio de asesoría telefónica para pago de impuestos 2.2 σ ;
- Restaurantes, prescripciones médicas 2.9 σ ;
- Compañías promedio en Estados Unidos de América 3 σ ;
- Manejo de equipaje de aerolíneas 3.2 σ ;

- Compañías “best in class” 5.7σ ;
- Fatalidades en la industria aérea 6.2σ .

2.1.5 Seis Sigma como Meta

Como meta busca reducir los defectos al grado de acercarse a cero, de tal forma que 6σ representa hasta 3.4 defectos por millón de oportunidades. Si una empresa tiene un proceso con rendimiento menor, la meta buscará acercarse lo más posible a 6σ . En términos estadísticos alcanzar 6σ significa alcanzar cero defectos, sin embargo el verdadero mensaje más allá de la estadística, es que se alcanza una filosofía y compromiso total por la excelencia, enfoque al cliente, mejora de procesos, así como la obligación de medir y no basarse en presentimientos o corazonadas (Dirgo, 2005).

2.1.6 Seis Sigma como Metodología

Seis sigma está basada en la aplicación del método científico para el diseño y operación de sistemas de administración y de procesos que permiten a los trabajadores entregar mayor valor a clientes y asociados (Pysdek, 2003). La metodología se apoya sobre el métrico 6σ y contempla rigurosos pasos para analizar procesos en búsqueda de fuentes de variación y desarrollar alternativas para eliminar o reducir errores y variación (McCarty, Bremer, Daniels, & Gupta, 2005). Para González (2005) este método de administración de hechos, técnicas, sistemas, datos y herramientas de medición incluye los pasos:

- **Definir** el problema (proyecto a realizar),
- **Medir** el problema,
 - Seleccionar la característica crítica para la calidad,
 - Definir el estándar de desempeño,
 - Validar el sistema de medición,
- **Analizar** el problema,
 - Establecer capacidad y habilidad del producto,
 - Definir objetivos de desempeño,
 - Identificar fuentes de variación,
 - Evaluar y jerarquizar las causas potenciales,
- **Mejorar** (solución estadística),
 - Encontrar la relación entre las variables,
 - Establecer tolerancias de operación,
 - Validar sistema de medición,
 - Determinar la capacidad y habilidad del proceso,
- **Controlar** (Solución práctica),
 - Implementar controles de proceso.

2.1.7 Seis Sigma como Sistema de Administración

La diferencia entre seis sigma y programas similares, es el grado de involucramiento de la administración de una empresa en el monitoreo de los resultados y logros, un sistema de administración seis sigma implica responsabilidad por resultados y revisiones permanentes para asegurar los resultados (Pande & Holpp, 2002). Y es que seis sigma como mejor práctica, es más que una serie de herramientas para el mejoramiento de procesos y de solución de problemas basados en métricos. En el nivel más alto, ha sido desarrollado en un sistema de administración práctico para el mejoramiento continuo basado en cuatro áreas claves (McCarty, Bremer, Daniels, & Gupta, 2005):

- Entendimiento y manejo de los requerimiento del cliente;
- Alinear los procesos clave para alcanzar los requerimientos del cliente;
- Uso de análisis riguroso de datos para entender y minimizar la variación en los procesos clave;
- Conducir un rápido y sostenible mejoramiento de los procesos de la empresa.

2.1.8 Estructura Organizacional de Seis Sigma

Además de las herramientas que la componen, la metodología define también una táctica para la estructura organizacional que permita que realmente se desarrolle. En Motorola se creó la figura de los llamados cinta negra (*black belt*), después se agregó otro nivel jerárquico que fueron los cinta verde (*green belt*), que son una extensión de los cinta negra de quien aprenden y asisten. También se incorporó la figura de master black belt los cuales serán maestros de tiempo completo y los campeones (*champions*), que son directivos que definen los proyectos (González, 2005). Actualmente muchas compañías han incorporado los cinta amarillas (*yellow belt*), al resto del personal.

2.2 Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma

Muchos autores mencionan que un Factor Crítico de Éxito (FCE) está relacionado a la administración, por ejemplo Tobias (1991) se refiere al *compromiso de arriba hacia abajo (Top Down Commitment)* como uno de los factores más críticos de éxito. Por su parte, Lee (2002) describió al *compromiso de la dirección (management commitment)* como el más importante, seguido de uso de herramientas estadísticas como otro FCE. Hahn (2005) indicó que *compromiso total de la dirección (total management commitment)*, *infraestructura apropiada* e *involucramiento del personal clave* son los factores más importantes. Por su parte Brady y Allen (2006), encontraron que el 50% de los artículos que mencionan FCE, citan a su vez *involucramiento y compromiso de la dirección (Management involvement and commitment)*. En contraste, para Goldstein (2001), *plan de implementación (Deployment plan)* es el más importante factor a considerar, seguido de *participación activa de ejecutivos seniors*. En un sentido similar, Gray y Anantatmula (2009) identificaron que la *definición clara de la misión del proyecto*, seguido de *soporte de la alta dirección*, fueron los factores preferidos de los líderes de proyectos SS. Por otro lado Chakrabarty y Tan (2007), hablan de las razones detrás del éxito depende de algunos FCE como el *compromiso de la alta dirección*, la *identificación de parámetros de proceso* y la *aplicación de la metodología SS*.

Como suele ocurrir en la literatura no unificada, existen ciertos temas o conceptos que en la práctica son los mismos, sin embargo, se indican o representan de manera diferente. En seis sigma esto no es la excepción, de tal manera que para unificar criterios, se presentan a continuación los factores críticos de éxito de una manera organizada y asociada en conceptos teóricos.

2.2.1 Involucramiento y Compromiso de la Alta Dirección

Top management involvement and commitment. Este aspecto no es nuevo, ya los gurús de la calidad Deming, Juran y Crosby indicaban que la administración efectiva de la calidad debe empezar en lo más alto, y es que en numerosas publicaciones se enfatiza que el éxito de seis sigma comienza desde “arriba” (Szeto & Tsang, 2005). Para Ugboro y Obeng (2000) se llama “liderazgo y compromiso de la dirección”, para Kaynak (2003) sólo lo indica como “liderazgo de la alta dirección”. Por su parte el término “compromiso ejecutivo” fue empleado por Powell (1995). A su vez “soporte de la dirección” fue utilizado por Flynn et al. (1995), “liderazgo comprometido” lo llama Curkovic et al. (2000) y “Liderazgo visionario” por Anderson et al. (1995). Sin embargo, todos estos autores coinciden en el mismo concepto, si se involucra y compromete la alta dirección, pueden entusiasmar a sus empleados para que realicen los proyectos de la mejor manera. Si los más altos rangos de gerencia no están comprometidos con el proyecto, la importancia de la iniciativa estará en duda y se verá afectada, por lo que la mayoría de la literatura coincide en que la alta dirección debe estar envuelta en la creación, manejo del proceso y participar en los proyectos.

Para Bañuelas y Antony (2002), el involucramiento de la alta dirección es el aspecto más importante, y es que las personas con más alto rango en las organizaciones deben conocer seis sigma. Sin el compromiso de la alta dirección, la verdadera importancia de la iniciativa será puesta en duda y la energía detrás de ella se debilitará. Sarkar (2007), indica que éste es un factor crítico para la implementación e indica que la participación activa de los altos ejecutivos es importante en el desarrollo de la metodología de SS. Para efectos de unificación de la literatura se menciona este aspecto como involucramiento y compromiso de la alta dirección.

2.2.2 Entrenamiento y Educación

Training and education. La formación es un factor crucial para la implementación exitosa de proyectos de SS, ya que se comunica tanto el qué hacer y el cómo hacer de seis sigma, y es que la educación y entrenamiento dan un claro sentido a las personas para entender mejor los fundamentos, herramientas y técnicas de la metodología, o como comenta Basu (2004), la educación es fundamental para que las cosas sucedan, ya que consta de “transferencia de hechos” relacionados a herramientas y técnicas, así como un “cambio de comportamiento” necesario para que los empleados hagan su trabajo diferente. En sentido similar, las mejoras en la calidad requieren cambios, y los cambios comienzan con la gente cuando entienden el propósito del cambio y las habilidades para implementar el cambio (Szeto & Tsang, 2005).

Para Kwak y Anbari (2006), el entrenamiento debe cubrir además prácticas y habilidades de mediciones y métricos tanto cualitativas como cuantitativas, de liderazgo y manejo de proyectos. Por ejemplo, los cursos de entrenamiento de seis sigma en la empresa General Electric son comprensivos y cubren habilidades de liderazgo de equipo, herramientas analíticas y de medición, herramientas de mejora, habilidades de planeación e implementación, etcétera (Yang 2004). En el caso de Samsung, se cree que el entrenamiento es el primer y esencial paso en la preparación para la implementación de la metodología (Szeto & Tsang, 2005). Es también una responsabilidad de los académicos acortar la distancia entre la teoría y la práctica de seis sigma (Antony, 2004). Por su parte Voelkel (2002) percibe que la educación en métodos estadísticos hará a los empleados más valorados para las organizaciones. En el argot de los autores se le denomina “entrenamiento de calidad” (Curkovic et al., 2000), “capacitación” (Anderson et al., 1995), “entrenamiento” (Kaynak, 2003), “educación y entrenamiento continuo” (Kwak & Anbari, 2006), “programa de educación y entrenamiento” (Basu, 2004). Sin embargo en este trabajo se denomina entrenamiento y educación.

2.2.3 Habilidad en la Administración de Proyectos

Project management skills. Este aspecto no sólo será útil para la consecución de proyectos SS en curso, pero también puede ser útil para seleccionar los proyectos futuros (Deshmukh & Lakhe, 2009). Para Basu (2004), una administración rigurosa de proyecto debe incluir un breve y bien definido proyecto, organización de proyecto, monitoreo regular del tiempo, costo y beneficios, así como retroalimentación continua. El autor comenta adicionalmente que un proyecto generalmente tiene cinco elementos: objetivo, tiempo, costo, calidad y riesgo (Basu, 2004).

En la misma línea de la administración de proyectos hay autores que en lugar de llamarle habilidades en la administración de proyectos; lo toman como “planeación y administración de proyectos”, Gibbons (2006), y Sarkar (2007); por su parte “administración de proyecto rigurosa” es indicada por varios autores (Basu, 2004), Mahanti y Antony (2009). Como todos los autores antes mencionados hablan de la administración de proyectos; pero difieren entre habilidades o administración de proyectos, para efectos de la presente investigación ambos términos se engloban en un solo punto llamado habilidad en la administración de proyectos.

2.2.4 Cambio Cultural

Cultural change. En lo que se refiere a cambio cultural, primero se debe entender que hay una resistencia al cambio, en este sentido Bañuelas y Antony (2002) encontraron cuatro factores para la resistencia al cambio: técnico, político, individual y organizacional. Para Burnes (1992), hay dos tipos de cambios (radicales e incrementales); los cambios radicales son como “una transformación en toda la empresa” o “cambios revolucionarios”, por otra parte, proyectos con cambios incrementales manejan una relativa pequeña escala y están diseñados para solucionar un problema particular o mejorar el desempeño de una parte de la organización. Sin embargo, el autor encuentra que una secuencia coordinada de cambios incrementales puede llevar a cambios radicales conforme pasa el tiempo. Para Plecko et al. (2009), en general cuando se produce un cambio importante, la gente de la

organización tiene miedo de lo desconocido y no entiende la necesidad del cambio. De hecho, si se ayuda al cambio de cultura es a favor de la implementación de proyectos de SS (Deshmukh & Lakhe, 2009). Algunos principios útiles para el cambio cultural (Snee R. , 2010)

- Tener sentido de urgencia;
- Revisar el progreso regularmente;
- Entender el comportamiento humano;
- Hacerlo fácil de ver, entender y hacer;
- Tener un enfoque que impacte, como las ganancias o rendimiento de proceso.

Sobre este aspecto, hay autores como Brady y Allen (2006), que hablan del “cambio de administración” como un FCE lo cual es un cambio grande dentro de la organización, donde los trabajadores tienen problemas al adaptarse al cambio ya que es un cambio cultural. Para este aspecto se maneja el término cambio cultural.

2.2.5 Vinculación de Seis Sigma con Proveedores

Linking Six Sigma to the suppliers. La vinculación de la metodología a las diferentes partes de la organización como los proveedores es fundamental dentro de una organización y es por ello que varios autores lo toman como un factor crítico de éxito. Bañuelas y Antony (2002) indican que las compañías necesitan ampliar SS en las áreas de la empresa. Una forma de hacerlo es compartir con los proveedores, principalmente con los que tienen una participación directa en la fabricación y entrega de la empresa asegurándose que el beneficio ganar-ganar debe ser considerado en la relación proveedor-comprador para obtener el éxito de la implementación. Una bien manejada y efectiva cadena de suministro produce ganancias en calidad así como costo y reducción del tiempo de ciclo. Es necesario para la organización considerar el desempeño de su cadena de proveedores como un aspecto estratégico (Szeto & Tsang, 2005). Por otra parte, Mahanti y Antony (2009) encontraron en un estudio realizado en la industria del software que la participación de los proveedores es el factor menos importante en el éxito de SS, pero aun así es considerado como importante para la implementación de la metodología. Por su parte Goldstein (2001) y Sarkar (2007), indican que un plan para los proveedores es importante. Warden et al., (2008), Mahanti y Antony (2009), consideran un FCE el ligar SS con la calidad de entrada, lo cual está representado por los proveedores; ya que estos son los que empiezan con la materia prima para poder producir o poder brindar el servicio. Para esta idea se utiliza el concepto vinculación de seis sigma con proveedores.

2.2.6 Vinculación de Seis Sigma con Recursos Humanos

Linking Six Sigma to human resources. El equipo de recursos humanos debe hacer frente al cambio que soportará el lanzamiento de seis sigma y construir la infraestructura para el programa de implementación (Szeto & Tsang, 2005). Sin embargo, el departamento de recursos humanos no debe de llevar el entrenamiento seis sigma, porque ellos no tienen idea de cómo hacerlo, en lugar de eso, deben tener una fuerte influencia en darle forma, lo que provoca el cambio de cultura seis sigma

sostienen Szeto & Tsang (2005). En este sentido, los autores indican que hay cientos de actividades relacionadas a recursos humanos al implementar SS como escribir descripción de puestos, definir un paquete de compensaciones, entre otros. Para Mahanti y Antony (2006), y Antoni et al. (2008) la vinculación de SS a los empleados es un factor crítico de éxito de seis sigma. Por su parte Sarkar (2007) y Yang et al. (2008), toman como parte fundamental la comunicación con todos los empleados. A su vez Harry y Schroeder (1999), indican que cerca del 61% de las compañías más destacadas ligan las recompensas al personal con la estrategia de negocio de la compañía, mientras que las menos destacadas no hacen tal liga.

Cuando se implementa un programa de cambio como seis sigma, es importante involucrar al personal de manera vertical, por ejemplo: operadores, supervisores, gerentes de línea y gerentes de planta. También es importante involucrar al personal de manera horizontal, por ejemplo entre departamentos (Gibbons, 2006). A este enfoque (Welch & Byrne, 2001) lo llaman colaboración sin fronteras. Por su parte (Pande et al. 2000) lo definen como rompimiento de barreras para el mejoramiento de trabajo en equipo, hacia arriba, abajo y a través de las líneas de la organización. Es claro pues la importancia del recurso humano y del departamento como tal para la implementación de seis sigma, el concepto a emplear es la vinculación de seis sigma con recursos humanos.

2.2.7 Vinculación de Seis Sigma a los Clientes

Linking Six Sigma to customers. Muchas empresas que abarcan SS, han centrado sus esfuerzos en mejorar los costos, pero hay que recordar que se está en el negocio para obtener beneficio económico, y la estrategia básica para lograr ese propósito es suministrar las necesidades de un cliente. Si el trabajo que se hace cada día está estrechamente vinculado a este objetivo, los beneficios se tienen con menores costos (Goldstein, 2001). A esto Curkovic et al. (2000) le llama “relaciones cercanas al cliente”.

Seis sigma empieza y termina con el cliente, los proyectos deben ser con los requerimientos que el cliente determinó. Es esencial para establecer las metas del proyecto basado en la reducción de la brecha entre la espera y los resultados reales, especialmente en términos de tiempo de entrega, fiabilidad y satisfacción del cliente (Bañuelas & Antony, 2002). En un sentido similar Antony et al. (2007), habla en su artículo de SS en organizaciones de servicio, como un factor crítico de éxito. Hay diversos puntos de vista en cuanto al factor comunicación con los clientes pero sin duda todos hablan y recaen al punto donde dicen que la comunicación se debe difundir a los clientes para que puedan trabajar bajo el mismo canal de información; al respecto, ligar SS con los clientes, o realizar un plan para los clientes se engloban en el concepto vinculación de seis sigma con clientes.

2.2.8 Seguimiento y Control de Proyectos

Project tracking and reviewing. Hay autores que consideran como un factor importante el tener un control de proyectos, lo cual es fundamental para poder desarrollar y obtener mejores resultados. Goldstein (2001), habla de establecer un sistema para el seguimiento de todos los proyectos. Esto

incluye proyectos presentados para su consideración, los proyectos aceptados para la ejecución, los proyectos en curso y proyectos completados para poder llegar a la meta deseada. Por su parte (Basu, 2004) indica como crítico tener una administración rigurosa del proyecto, en ese sentido coinciden autores como Antony et al. (2007), Sarkar, (2007), así como Iwaarden et al. (2008).

Goldstein (2001) indica además, que el propósito del seguimiento de proyectos es regular el calendario de revisión, y es que una de las barreras para la implementación exitosa de seis sigma es tener pocas o pobres revisiones de la dirección a los proyectos (Antony, Kumar, & Labib, 2008). En sentido similar, la frecuencia y quienes dan seguimiento a proyectos seis sigma, son aspectos sobre grupos de mejora que se consideran en base al modelo europeo de gestión de la calidad de la EFQM (Gadea, 2005). Otro punto importante es que la habilidad para manejar proyectos seis sigma, también puede ser útil para seleccionar los proyectos futuros (Deshmukh & Lakhe, 2009). Dadas las necesidades de seguimiento, revisión y control al momento de desarrollar un proyecto se decide considerar para efectos de la investigación el concepto seguimiento y control de proyectos.

2.2.9 Comunicación del Equipo

Team communication. Goldstein (2001), comenta la importancia de desarrollar un plan para comunicar el programa SS a toda la organización, donde en un inicio se comunique: ¿Qué es seis sigma?, ¿Por qué la organización se está embarcando en este viaje?, ¿Cuáles son los objetivos de negocio?, ¿Cuál es el plan de despliegue?, ¿Cómo cada empleado podrá participar? a su vez, dado que el programa avanza, comunicar: los planes de formación, los proyectos seleccionados, en proceso y terminados, beneficios para el negocio hasta la fecha, y a los clientes, nuevos impactos e incrementos de ventas. Un plan de comunicación es importante para conseguir la participación del personal con la iniciativa de SS, mostrándoles cómo funciona, cómo se relaciona con su trabajo y los beneficios (Bañuelas & Antony, 2002). El siguiente grupo de autores afirman que la comunicación es parte importante y se considera factor crítico de éxito para la implementación de la metodología de SS, Kumar y Antony (2008), Iwaarden et al. (2008), Kumar y Antony (2009), y Mahanti y Antony (2009). Al respecto se menciona el concepto comunicación del equipo en el presente trabajo.

2.2.10 Selección y Priorización de Proyecto

Project selection and Prioritization. Una de las frustraciones más debatidas entre los autores al momento de desarrollar un proyecto SS es la selección de proyectos. Primero hay que definir lo que hace un buen proyecto y luego establecer un proceso para identificar o capturar a los proyectos candidatos, llegado el momento de la selección se requiere poner atención en los siguientes puntos (Goldstein, 2001):

- Cuidado en las características críticas de calidad (CTQ's);
- La variable de respuesta se debe medir fácilmente;
- Debe haber un beneficio económico para la empresa;
- Toma de datos fácilmente;

- El proyecto tiene una alta probabilidad de éxito;
- El proyecto puede completarse en cuatro a seis meses.

Los proyectos son seleccionados de tal manera que estén estrechamente vinculados a los objetivos de negocio. Por lo tanto todos los proyectos se seleccionarán de manera que ayude a la compañía a mejorar las ventajas competitivas, rentabilidad del negocio, el tiempo de ciclo del proceso, el rendimiento de procesamiento. Antony et al. (2006), mencionan que la selección, la gestión y la correcta realización del proyecto son parte integral de componentes de cualquier esfuerzo de mejoramiento de los negocios. La selección del proyecto adecuado es un factor vital para la aceptación del programa SS entre los altos directivos y otros empleados de la organización. El proceso de selección de proyectos dentro de un programa SS debe escuchar cuatro voces importantes: voz del cliente, de la empresa, del proceso, y la voz de los interesados. Las siguientes son algunas de las características de los buenos proyectos SS:

- El proyecto debe estar claramente ligado a los objetivos estratégicos del negocio;
- El problema es reconocido como de gran importancia para el negocio, tanto en términos de costo, calidad y satisfacción del cliente;
- El proyecto debe hacerse en menos de seis meses;
- Los objetivos del proyecto deben ser reales, medibles, alcanzable;
- Debe haber medidas cuantitativas del éxito que puede evaluarse antes y después de concluido el proyecto;
- Los proyectos deberán contar con el apoyo y la aprobación de la alta dirección.

La selección y priorización de los proyectos es crítica, así como seguir una metodología estructurada (Ricondo & Viles, 2005). Ward et al. (2008), indica que el escoger el proyecto adecuado es responsabilidad clave del liderazgo de la organización. Cuando el recurso es limitado, se deben de establecer prioridades para la aplicación de proyectos de SS específicamente en la mejora de procesos. En este trabajo se utiliza el concepto selección y priorización de proyecto.

2.2.11 Entender el Método, Herramientas y Técnicas

Understanding the methods, tools and techniques within six sigma. (Bañuelas & Antony, 2002) Indican que los empleados aprenden tres grandes grupos de herramientas y técnicas, que se dividen en las herramientas de equipo, las de procesos y las de liderazgo. Para (Dale & McQuater, 1998), una técnica tiene más aplicación que una herramienta ya que hay una necesidad de un proceso de pensamiento más intelectual, más habilidad, conocimiento, entendimiento y entrenamiento. Para muchos proyectos, generalmente las herramientas básicas estadísticas o de calidad son suficientes, sin embargo, para grandes mejoras en el proceso, ciertas herramientas y técnicas avanzadas de estadísticas son necesarias (Antony & Bañuelas, 2002).

La opinión de diferentes autores en el uso de los factores críticos coinciden que es fundamental el entender la metodología para poder desarrollarla (Antony y Banuelas (2002), Bañuelas et al. (2005), Goh et al. (2006), Antony et al. (2007), Antony (2008), Chakraabarty y Tan (2008), Yang et al. (2008),

Antony y Desai (2009), Tkáč y Lyócsa (2009)), en el mismo sentido se utiliza el concepto entender el método, herramientas y técnicas.

2.2.12 Ligar Seis Sigma con la Estrategia del Negocio

Linking six sigma to business strategies. Bañuelas y Antony (2002), hablan de que seis sigma no puede ser tratado como otra actividad independiente. Se requiere la adhesión a toda una filosofía y no sólo el uso de algunas herramientas y técnicas de mejora de la calidad. Los proyectos de SS deben ser objeto de procesos y mejoras de productos que tienen un impacto financiero y operativo. Incluso si los primeros esfuerzos se centran en problemas bastante estrechos, su impacto en todo debe ser claro. Al respecto, SS es un programa de negocio soportado por la alta dirección y consecuentemente, altamente relacionado con la estrategia de la organización, ya que está relacionado para obtener resultados financieros (Ricondo & Viles, 2005).

Al usar un plan de aplicación de la estrategia del negocio en conjunto con la metodología función de despliegue de la calidad, se obtiene que los proyectos seis sigma estén ligados a los métricos de la empresa a través de la selección del proyecto (Pzydek, 2003). El mismo autor indicaría después la técnica para ligar seis sigma a las estrategias de negocio, por medio del *balanced score card* o cuadro de mando integral. Y es que a diferencia de los sistemas de medición tradicionales, que tienden a tener sesgo, los *balanced score card*, están basados sobre la estrategia organizacional, ya que los métricos operacionalizan las estrategias y crean un enlace entre las actividades de la organización y la visión del liderazgo (Pyzdek, 2004). Ya previamente se hablaba que esta técnica ayuda a la organización a mantener una perspectiva holística al proveer de manera concisa el desempeño de los métricos en cuatro áreas como son: los clientes, finanzas, procesos internos y aprendizaje y desarrollo (Kaplan & Norton, 1992). Pero hay autores que van más allá (Rodríguez, 2008) propone un nuevo enfoque llamado *Six Sigma Scorecard* basado en lecciones aprendidas de seis sigma y *balanced score card*, el cual alinea la estrategia organizacional, desempeño de las mejoras y la satisfacción del cliente. Rodríguez (2008) indica que la falla en la habilidad de una organización en traducir la estrategia a actividades y objetivos y las fallas en los proyectos seis sigma, son mayormente causados por la falta de soporte y alineación de la alta dirección. Para efectos de identificar este concepto se utiliza ligar seis sigma con la estrategia del negocio.

2.2.13 Infraestructura Organizacional

Organizational infrastructure. Bañuelas y Antony (2002), indican que para la aplicación de SS dentro de cualquier organización, algunas de las características de organización deben estar ya en su lugar; por ejemplo, es muy conveniente disponer de algún grado de habilidades de comunicación, el enfoque o la estrategia y trabajo en equipo, además, debería tener suficientes recursos e inversiones para embarcarse en la metodología. Seis sigma no puede ser una actividad informal extracurricular; es requerido una infraestructura de soporte formal. El compromiso de la dirección implica establecimiento y soporte de dicha infraestructura e incluye establecer la organización formal, definición de objetivos y responsabilidades, desarrollo de presupuestos y especificación de un proceso

sólido de medición de resultado (Hahn 2005) y (Szeto & Tsang, 2005). Además la terminología e infraestructura de seis sigma debe ser creada en una forma tal que es más relevante a la cultura en la que el programa seis sigma está siendo implementado (Schön, 2006). Se utiliza el concepto infraestructura organizacional.

2.2.14 Enfoque en Objetivos

Goals focused. (Pyzdek, 2004) Presenta un enfoque de cómo los objetivos pueden ser usados para impulsar la estrategia y directamente ligados a la acción mediante la aplicación de herramientas como el *balanced scorecard*, mapeo de proceso y modelos de ecuaciones estructuradas. Es extremadamente importante para seis sigma enfocarse en obtener resultados y en este sentido se necesitan establecer objetivos basados en hechos y analizados sistemáticamente. Estos deben ser retos para todo el trabajo de mejora, por lo que es importante que estos objetivos sean explicados y clarificados para toda la organización (Sandholm & Sorqvist, 2002). Linderman et al. (2003) sugieren que tener objetivos específicos que sean retadores conduce a una mejor magnitud de éxito que si se tuvieran objetivos vagos. El argumento también explica el rol de los cinturones y del liderazgo de la alta dirección. En el presente trabajo se utiliza el concepto enfoque en objetivos.

2.2.15 Liderazgo en Proyectos Seis Sigma

Project Leadership. Desde el punto de vista psicosocial, se exigen competencias fundamentales para dar la energía que el comienzo requiere, en particular para la arrancada de los grupos de trabajo, los cuales necesitan condiciones especiales de liderazgo. (Mendoza, 2005). En la mayoría de casos, un *black belt* es líder del equipo, así mientras posee habilidades para aplicar herramientas estadísticas y solucionar problemas reales, es prioritario tener otras habilidades de eficiencia organizacional como liderazgo de equipo y de proyecto, así como de gestión de reuniones (Hoerl 2001).

El estilo de liderazgo participativo y de apoyo provee a la organización con el soporte de la alta dirección necesario para el mejoramiento de la calidad, tales como la participación del personal, desarrollo de mecanismos interfuncionales, habilidades de liderazgo, y cultura de equipo necesarios para la implementación del programa de calidad, creando un clima de comunicación abierta acerca del progreso de la implementación que permitirá el aprendizaje y profundizar el cambio, así como la inversión en la formación para ayudar a los empleados a incrementar sus conocimientos, habilidades y capacidades (Zu, Robbins, & Lawrence, 2009). Un supuesto importante es que los empleados deben estar debidamente motivados para mejorar su trabajo, ya que la mayoría de las personas están intrínsecamente motivadas cuando se trabaja en un entorno sin temor y sin coerción (Detert, Schroeder, & Muriel, 2000). Por su parte es considerado como un movimiento positivo en la formación para un estadista, tomar un rol de liderazgo dentro de seis sigma (Hoerl, Rodebaugh, & Snee, 2004). Para el presente trabajo se emplea el concepto liderazgo en proyectos seis sigma.

2.2.16 Involucramiento del Equipo

Team Involvement. Algo importante es asegurar el entendimiento y consentimiento de todos en la planta, especialmente a la gente de piso, en realidad esa es la clave que ayudará a determinar el éxito o fracaso (Shingo, 1989). Para Brady y Allen (2006), el involucramiento del equipo resultó ser el séptimo factor más reportado en su investigación, lo que refleja su importancia. A su vez el involucramiento del equipo, trabajo en equipo y el consenso son característicos de la cultura de grupo (Deninson & Spreitzer, 1991). En un sentido similar Zu et al. (2009) indican que el trabajo en equipo, el facultamiento del personal y la comunicación abierta fomentados por la cultura de equipo, facilita la aplicación de las herramientas y técnicas de seis sigma para la solución de problemas.

La colaboración es definida como el grado en que los individuos se comunican, cooperan y ayudan activa y mutuamente en su trabajo mediante el intercambio de conocimientos y experiencias (Lee & Choi, 2003), por su parte Dale (2006), cuestiona en su investigación la voluntad de los miembros del equipo a colaborar en equipos interdepartamentales. Una de las principales preocupaciones de las empresas sobre la cultura de grupo, es el desarrollo del potencial humano, trabajo en equipo y compromiso de los miembros como un medio para mejorar las decisiones y el resultado general (Deninson & Spreitzer, 1991). Bajo este contexto se emplea el concepto involucramiento del equipo.

2.2.17 Selección del Equipo

Right team. Antes de comenzar un proyecto seis sigma, se debe constituir un equipo adecuado que justificadamente pueda ayudar a la ejecución del proyecto (Rao, Bajpai, & Verma, 2009). En ese sentido un factor crítico de éxito es seleccionar al personal correcto (Burgess, 2009); él indica que por sí solo seis sigma no mejora nada, es la gente la que hace la mejora, *black belts* y *green belts* requieren no solamente entrenamiento en seis sigma sino también de liderazgo de equipo y habilidades de comunicación. Al respecto Brady y Allen (2006) en su investigación detectaron 13 FCE, y para ellos el cuarto factor más reportado es la conformación del equipo correcto de seis sigma. Por su parte Black y Robert (2006), detectaron en su trabajo que en la conformación del equipo seis sigma, las mujeres buscan en un *black belt* que sea un agente de cambio, que tenga habilidad de planeación, habilidades de comunicación oral y para escuchar, así como habilidades en la solución de problemas. Por su parte los hombres se interesan por que sea un formador de equipos, un agente de cambio, habilidad en la solución de problemas, que sea orientado a resultados y con habilidades de razonamiento. A su vez, Bañuelas y Antony (2002) indican que el valor del trabajo en equipo formados por equipos multidisciplinarios activará el sentido de pertenencia, mejor comunicación y trabajo en equipo. En el presente trabajo se emplea el concepto selección del equipo.

2.2.18 Sistema de Datos

Data System. Una característica común de los proyectos seis sigma es la necesidad de datos, si no hay suficientes datos disponibles, el proyecto fallará, indican (Ho, Chang, & Wang, 2008). En su trabajo ellos encontraron que el uso del análisis de datos, con datos fácilmente obtenibles es un FCE. Los autores sugieren que las organizaciones y departamentos deben hacer esfuerzos para asegurar el

almacenamiento y preservación adecuada de datos de las operaciones diarias. Seguramente hay proyectos donde la recolección de datos es lenta y laboriosa, especialmente en bajos volúmenes de operaciones indica Goldstein (2001). Debido a la importancia para algunos autores, se empleará el concepto sistema de datos.

2.2.19 Enfoque al Balance Financiero

Bottom Line focused. Para Brady y Allen (2006) algunos factores parecen incompatibles como el enfoque en el balance financiero y el enfoque en el cliente. De hecho, en su trabajo, este factor es el sexto más importante a considerar. La importancia de un involucramiento en etapas tempranas de seis sigma del personal financiero y de contabilidad para asegurar que ellos refuerzan el uso de guías apropiadas para cuantificar los beneficios del proyecto (Neuscheler-Fritsch & Norris, 2001). En este sentido se emplea el concepto enfoque al balance financiero en este trabajo.

2.2.20 Enfoque Estructurado

Structured Approach. El enfoque estructurado, además de proporcionar una ruta lógica para la gestión de equipos de seis sigma, también promueve la aplicación de mejores prácticas de gestión que proporcionan una receta para lograr estrategias de progreso para las organizaciones (Breyfogle, 2003). Los usuarios de seis sigma sostienen que al alejarse de un enfoque funcional tradicional y posicionar seis sigma en el campo de la gestión de procesos de negocio, las organizaciones han logrado resultados óptimos. El proceso DMAIC tiene la capacidad de identificar las causas de los problemas de negocio y por lo tanto generar ahorros de costos, mayor satisfacción del cliente y mayor rentabilidad (Hammer, 2002). Se emplea el concepto enfoque estructurado para esta idea proporcionada por los autores.

2.3 Las Herramientas y Técnicas de Seis Sigma

Seis sigma (SS) tiene componentes administrativos y técnicos, donde lo administrativo implica identificar métricos de proceso, establecimiento de objetivos, selección de proyectos y la asignación de personas en proyectos entre otros. A su vez, la parte técnica implica el mejoramiento del comportamiento del proceso por medio de la reducción de la variación (Hu, Bart, & Sears, 2005). Similarmente el entrenamiento SS principalmente involucra tres grupos de herramientas y técnicas: de equipo, de proceso y estadísticas. Las herramientas y técnicas (HyT) de equipo y de proceso son utilizadas para preparar a los líderes de seis sigma con las habilidades de conformación de equipo y liderazgo para la implementación del proyecto (Szeto & Tsang, 2005). Por su parte las HyT estadísticas ayudan a los miembros del equipo a identificar las variables inherentes al proceso que no pueden ser controladas y que afectan negativamente la calidad en general (McAdam & Evans, 2004). A su vez McQuarter et al. (1994) comenta que las HyT son ingredientes esenciales del proceso e instrumentos en el éxito de un programa de calidad. Muchas compañías las han usado sin darle suficiente importancia y han experimentado dificultades para progresar.

En general, las HyT pueden ser definidas como métodos prácticos y habilidades aplicadas a actividades específicas para permitir la mejora. Una herramienta específica tiene un rol definido y una técnica puede comprometer la aplicación de varias herramientas (Basu, 2004). Una sola herramienta puede ser descrita como un instrumento que tiene un rol claro y una aplicación definida y frecuentemente su enfoque es reducido (Dale & McQuater, 1998). Ejemplos de herramientas son: *diagrama causa efecto*, *análisis Pareto*, *diagrama de relaciones* y *diagrama de flujo*. A su vez, una técnica tiene una aplicación más amplia que una herramienta. Hay además una mayor necesidad de proceso de pensamiento intelectual y más habilidades, conocimientos, entendimiento y entrenamiento con la idea de usarla más efectivamente (Dale & McQuater, 1998). Una técnica puede inclusive ser vista como una colección de herramientas, por ejemplo el *control estadístico de proceso*, *Emulación (Benchmarking)* y *Despliegue de la función de calidad (Quality Function Deployment QFD)*.

Por si sola, una herramienta o técnica producirá resultados en un área limitada. Es el efecto acumulativo de un número de herramientas y técnicas apropiadas que crearán beneficios sostenibles para toda la organización (Basu, 2004). Es por eso que debido a su enfoque holístico y enfoque basado en HyT, que seis sigma agrega cualquier otra herramienta o técnica que puede mejorar resultados argumenta (Hoerl 2004), sin embargo las HyT pueden ser una navaja de doble filo indica Basu (2004), ellas son efectivas en las manos correctas y pueden ser peligrosas en las equivocadas. Dado que seis sigma estudia un problema real detectando las fuentes de variabilidad, se identifican estadísticamente las variables que tienen más influencia en la variabilidad de los procesos y los niveles en que el desempeño es óptimo, para al final monitorear las variables críticas y se mantener el proceso en control estadístico (Primitivo, 2002), al respecto se requiere dominio de herramientas y técnicas (HyT) de diversa índole. En este sentido, varios autores han tratado de unificar la teoría y han propuesto HyT que desde su punto de vista son las que conforman a la metodología seis sigma. Tobias (1991) plantea que las herramientas clave son el *diseño robusto de experimentos*, *control estadístico de procesos*,

análisis exploratorio de datos, análisis de correlación y regresión, técnicas de lluvia de ideas. Por su parte Kumar y Antony (2008), argumentan que el equipo que desarrolla un proyecto debe seguir la metodología DMAIC como se aprecia en la Tabla 4; las cinco fases DMAIC tienen a su vez herramientas claves que se deben utilizar en cada fase.

Tabla 4. Herramientas Propuestas por Kumar y Antony.

<i>D = Define (definir):</i>	Análisis de Pareto, gráfica de proyecto
<i>M = Measure (medir):</i>	Estadística descriptiva, análisis de capacidad de proceso
<i>A = Analyze (analizar):</i>	Mapa de proceso, diagrama de pescado
<i>I = Improve (mejorar):</i>	Diseño de experimentos
<i>C = Control (controlar):</i>	Control estadístico de proceso

Por su parte Pantano et al. (2006), propusieron las herramientas mínimas por etapa, ver Tabla 5. Algunos autores le dan más importancia a ciertas etapas de la metodología y es ahí donde ellos hacen énfasis en las herramientas a utilizar como lo hizo Sarkar (2007), quien habla de las herramientas más aplicables en la fase de medición, indicando que son: *diagrama de pescado, mapeo de procesos, matriz causa y efecto, AMEF, y el estudio de repetibilidad y reproducibilidad.*

Tabla 5. Herramientas Propuestas por Pantano.

Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
Definición operacional	Análisis del modo y efecto de falla (AMEF)	Gráfica de corrida	Lluvia de ideas	Fábrica Visual
Mapa de procesos	Análisis del sistema de medición (MSA)	Histograma	Matriz Pay-off	Gráficos de control
SIPOC	Capacidad de proceso	Diagrama de dispersión	Diseño de experimentos	Plan de Control
Diagrama causa y efecto		Prueba de hipótesis		Plan de entrenamiento

A su vez, Antony et al. (2007), mencionan que las herramientas y técnicas más utilizadas por las organizaciones de servicios en el Reino Unido son: *mapeo de procesos, lluvia de ideas, análisis de la causa raíz, gráficas de corridas (Run charts), benchmarking, análisis de Pareto, cambio en instrumentos de gestión.* Al siguiente año Chakrabarty y Tan (2008), hablan de las herramientas y técnicas comúnmente utilizadas por ellos las cuales son:

- Lluvia de ideas,
- Mapeo de procesos,
- Diagrama de pescado,
- Análisis de Pareto,
- Histograma,
- Diagrama SIPOC,
- Diseño de experimentos (DOE),
- Análisis del modo de falla y efecto (AMEF),
- Control estadístico de procesos (SPC),
- Despliegue de la función de calidad (QFD).

En otro estudio realizado por Kovach et al. (2008), indican que las herramientas y técnicas esenciales por cada fase son menos y no siempre las mismas que indican los otros autores, ver Tabla 6.

Tabla 6. Herramientas Propuestas por Kovach et al.

Definir	Medir	Analizar	Mejorar	Controlar
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diagrama de Afinidad ▪ Gráfico de Pareto ▪ Carta del proyecto ▪ SIPOC ▪ Mapa de Procesos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis al sistema de medición (MSA) ▪ Histogramas ▪ Colección de datos ▪ Análisis de capacidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diagrama causa y efecto ▪ Estudio multi-variado ▪ Diagrama de dispersión ▪ Pruebas de hipótesis ▪ Regresión y correlación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DOE ▪ Matriz de priorización ▪ Plan de mejora 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gráfica de control ▪ Plan de control

Bunce et al. (2008), propone otras técnicas aparte de algunas de las ya mencionadas dentro de las fases de la metodología DMAIC de SS y se aprecian en la Tabla 7.

Tabla 7. Herramientas Propuestas por Bunce et al.

<i>Definir</i>	<i>Medir</i>	<i>Analizar</i>	<i>Mejorar</i>	<i>Controlar</i>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrato del proyecto ▪ SIPOC ▪ Diagrama de flujo ▪ Gráfica de responsabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Costo de calidad ▪ Análisis de ingeniería económica ▪ Análisis de Pareto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de causa raíz ▪ Histogramas ▪ Gráficos de estratificación ▪ DOE ▪ Pruebas de Hipótesis 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de ingeniería económica ▪ Mejoras de proceso ▪ Diseño robusto de producto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Información de flujo ▪ Gráficos de control

A pesar de que SS se basa principalmente en los métodos estadísticos, se han integrado otras herramientas de gestión de calidad, como: *diagrama de causa y efecto*, *Poka-Yoke*, *Kaizen*, *Kanban*, y en general *manufactura esbelta* (Kanji, 2008). Por su parte Iwaarden et al. (2008), indican que las herramientas y técnicas más importantes dentro de la metodología SS son:

1. Mapeo de procesos/diagrama de flujo,
2. 7 herramientas de calidad,
3. Análisis de causa raíz,
4. Análisis de causa y efecto,
5. Análisis de capacidad de procesos,
6. Análisis de la varianza,
7. Control estadístico de proceso (SPC),
8. Gráficos de control,
9. Plan de control.

En un estudio realizado por Bañuelas et al. (2009) en China, se les pidió a algunas empresas identificar las herramientas y técnicas que utilizan, de las que destacan: *diagrama Pareto*, *AMEF*, *diagrama causa y efecto*, *mapeo de la cadena de valor (VSM)*, *gráficos de control*, *5's*, *DOE*, *poke-yoke*, *pruebas de*

hipótesis, MSA, análisis de regresión y correlación. A su vez, Antony y Desai (2009), indican las herramientas estadísticas, así como las no estadísticas, utilizadas en proyectos de SS por las empresas indias: *histogramas, diagramas de dispersión, gráficas de corridas, SPC, análisis de capacidad de proceso, MSA, DOE, método Taguchi, Anova, prueba de hipótesis, análisis de regresión, pruebas no paramétricas, diagrama de flujo, mapeo de procesos, lluvia de ideas, análisis de causa y efecto, diagrama de afinidad, análisis de Pareto, práctica de 5's, matriz de análisis, cuadro de mando integral (balanced score card).* Por último, para Mahanti y Antony (2009), las herramientas más utilizadas en seis sigma son: *SPC; gráficos de control, diagrama de pescado, regresión, mapeo de proceso, QFD, AMEF y análisis de capacidad de proceso.*

Como se puede apreciar, el uso de herramientas y técnicas dentro de la metodología es muy amplio; pero aun así no se sabe cuánta magnitud tienen dentro del desarrollo de los diferentes proyectos que se realizan.

2.4 La Técnica del Meta-Análisis

La generación de conocimiento en la actualidad se ha desarrollado en cantidades sorprendentes, al grado que resulta difícil concentrar de una manera práctica tanta información derivada de resultados de investigaciones. Bajo esta necesidad se han desarrollado métodos de análisis y síntesis, algunos de ellos sin incorporar procedimientos estadísticos, limitándose a realizar una comparación simple y sin incorporar una técnica rigurosa para concluir resultados. En este contexto Eugene Glass, (1976), desarrolló un método con herramientas estadísticas para la integración de resultados de estudios, el cual denominó Meta-Análisis (MA) donde Meta es una palabra de origen griego que significa “después de”, y análisis se encuentra como “la descripción e interpretación de algo”. Glass (1976) definió por primera vez al MA como la técnica que se enfoca a la integración estadística de un gran número de resultados de estudios empíricos.

Fue hasta finales de la década de los 80's donde comenzó a tomar fuerza también en el área de la salud, a tal grado que se han formado organizaciones para su sistematización como *The Cochrane Collaboration*, que cuenta con un manual y que se utiliza para la comparación sistemática de los efectos de diferentes estudios y publicaciones. A esta corriente se le conoce como "medicina basada en la mejor evidencia" (best Evidence Based Medicine).

2.4.1 Definiciones de Meta-Análisis

Michael Borenstein et al. (2009), define al meta-análisis (MA) como la síntesis estadística de resultados de una serie de estudios, donde los procedimientos estadísticos utilizados se pueden aplicar para cualquier conjunto de datos recolectados sistemáticamente. Para Skrondal y Rabe-Hesketh (2004), un MA es la aproximación estadística para combinar evidencia de diferentes estudios y obtener un estimado general de los efectos de un tratamiento. Por su parte, Hox y Leeuw (2003), establecen que el objetivo del meta-análisis es resumir el resultado de una colección de estudios, definición semejante

a la establecida por Avilés (1995), que define al MA como un análisis estadístico de una gran colección de resultados extraídos de trabajos individuales con el propósito de integrar los hallazgos obtenidos. Otra definición es la de Sack (1987), que manifiesta que el MA es una nueva disciplina científica que revisa críticamente y combina estadísticamente los resultados de investigaciones previas. Por su parte Vázquez (2007), menciona que con este método se pueden combinar los resultados cuantitativos de varios estudios para evaluar un efecto que será de forma más precisa que en cada estudio individual pero, manteniendo siempre su validez científica. Para complementar el concepto del MA se mencionan a algunos aspectos (DeCoster, 2004):

- El propósito básico del MA es proveer el mismo rigor metodológico a la revisión de literatura que la requerida por la investigación experimental;
- El desarrollo de MA está basado algunas veces en decisiones del autor sobre su propio juicio, como al definir los límites del análisis o decidir exactamente que variable indicadora utilizar. Sin embargo el MA requiere que esas decisiones sean públicas y de esa manera estar abiertas a la crítica.

2.4.2 Utilidad del Meta-Análisis

Como en muchas disciplinas, en el área del cuidado de la salud no es la excepción el contar con cantidades de información que no se puede manejar, por lo que se demandan revisiones sistemáticas para eficientemente integrar información válida y proveer una base racional para la toma de decisiones (Mulrow, 2004); en esta área es empleado el MA o *reviews* como también es conocido, donde la gran mayoría de los ensayos clínicos que se publican, tienen un tamaño muestral muy pequeño para dar respuestas definitivas a la gran cantidad de interrogantes, a lo que el MA combina estos estudios permitiendo llegar a conclusiones más confiables, (Céspedes, 1995).

En el campo de la ingeniería existe también la necesidad de integrar y sintetizar de manera confiable los resultados procedentes de diferentes investigaciones, pero con objetivos similares. Desde ese punto de vista el MA es una “bala de plata” que permite obtener conclusiones del esfuerzo realizado en decenas de experimentos por otros investigadores (Manso, Cruz-Lemus, Genero, & Piattini, 2008).

2.4.3 Tipos de Meta-Análisis

Para DeCoster (2004), hay dos variantes de meta-análisis, las revisiones cuantitativas de literatura y los resúmenes meta-analíticos. El uso más común del MA ha sido en la revisión cuantitativa de literatura, esto es revisión de artículos donde los autores seleccionan los hallazgos de investigación o “efectos” que han sido investigados en estudios primarios bajo una gran cantidad de circunstancias diferentes. En estos casos los autores usan el meta-análisis para ayudar a describir la fuerza general del efecto o “efecto global”, y bajo qué circunstancias éste es fuerte o débil.

Recientemente las técnicas conocidas como meta-analíticas se han multiplicado; los investigadores comienzan a usar los resúmenes meta-analíticos dentro de los artículos de investigación primaria. En

estos casos, el MA es usado para proveer información que soporte una declaración teórica específica, usualmente acerca de la fuerza o consistencia general de una relación dentro de los estudios. Como se esperaría, realizar un resumen meta-analítico es un procedimiento más simple que desarrollar una completa revisión cuantitativa de literatura.

2.4.4 Etapas del Meta-Análisis

Aún no existe un método único en la elaboración del MA, de hecho existen varias formas que pueden incluir la acumulación de correlaciones (r), diferencias estandarizadas entre promedios (d), P-Value, o el valor Z (Lyon, 2002). Sin embargo la mayoría de los autores coinciden en los siguientes pasos:

- Definir la relación teórica de interés;
- Colectar la población de estudios que proveen datos sobre la relación;
- Convertir los estudios y determinar los efectos de los tratamientos;
- Examinar la distribución de los efectos de los tratamientos y analizar el impacto de las variables moderadoras;
- Interpretar y reportar los resultados.

Al comenzar con un MA se debe formular una pregunta concreta que se pretenda responder, incluyendo el objetivo general y específicos del estudio y que permite observar con mayor rigor y evitar aquellos sesgos inherentes de estudios retrospectivos como el MA.

2.4.5 Limitación del Fenómeno de Interés

Los resultados finales del estudio dependen en gran parte de la cantidad de resultados individuales analizados sobre el tema, es necesario establecer los criterios que se utilizarán para incluir o excluir los estudios encontrados. La meta en esta etapa es definir una población objetivo razonable para sintetizar y limitar de una manera que los estudios incluidos examinan el mismo fenómeno base, pero a su vez que se obtengan resultados que no pueden ser fácilmente alcanzados al mirar cada estudio de manera individual (DeCoster, 2004). Un criterio importante para hacer un estudio meta-analítico, es que los estudios necesitan medir tanto la variable explicatoria (independiente) como la variable de respuesta que definan el efecto y provean un estimado de su relación.

Así pues, el MA constituye un intento por resolver contradicciones entre los resultados de diferentes investigaciones que evalúan la eficacia de seis sigma utilizada en diferentes tipos de organizaciones. A continuación se desarrollarán los procedimientos estadísticos, de hecho este apartado sobre procedimientos estadísticos es lo que caracteriza al MA en comparación con la revisión normal (Vázquez, 2007).

2.5 Instrumento de Recolección de Datos

Un instrumento de recolección de datos tipo cuestionario, es una técnica estructurada para la recopilación de datos en una serie de preguntas, escritas u orales, que debe responder el entrevistado (Malhotra, 1997). La finalidad de la recolección de los datos, es aportar información verídica, oportuna y de relevancia para la elaboración de propuestas o sugerencias de mejora como objetivo de la investigación. En un sentido similar Buen-Día (1998) define al cuestionario como un método de investigación capaz de dar respuestas a problemas tanto en términos descriptivos como de relación de variables, tras la recogida de información sistemática, según un diseño previamente establecido que asegure el rigor de la información obtenida". A su vez, los criterios para el planteamiento del problema deben ser, según (Kerlinger, 1975).

- El problema debe expresar una relación entre dos o más variables;
- El problema debe estar formulado claramente sin ambigüedad como pregunta, ejemplo ¿qué efecto?, ¿qué condiciones?, ¿de qué forma?;
- El planteamiento implica la posibilidad de prueba empírica.

Antes de realizar un cuestionario definitivo, es recomendable realizar uno piloto, como lo comenta Arenas (2003), ya que nos permite detectar posibles errores o fallas en la estructura o planteamiento de las preguntas que se conforman, este cuestionario, de la misma manera nos permite agregar o quitar preguntas que falten o estuvieran de más. En el mismo sentido, las preguntas de un cuestionario según Tapia (2000), deben ser elaboradas con el siguiente criterio en mente.

- Claras y precisas, de fácil comprensión;
- Contener una sola idea;
- No hacer preguntas dirigidas;
- Utilizar un lenguaje adecuado, respetando el lenguaje del grupo entrevistado.

2.5.1 Generación de Constructos

Para la generación del instrumento de obtención de datos, es preciso determinar las escalas o constructos que se desean medir, en ese sentido, de acuerdo con Cronbach (1971), un constructo es un mecanismo intelectual por medio del cual se interpreta los acontecimientos o eventos. Es decir los constructos son simplemente conceptos. Por su parte Briones (1996) define un constructo como un concepto teórico e hipotético por ejemplo la inteligencia, la motivación, la creatividad o las actitudes. Los constructos se definen como propiedades subyacentes, que no pueden medirse en forma directa, sino mediante manifestaciones externas de su existencia, es decir, mediante indicadores de medición o variables observadas. Al respecto, la selección de indicadores es un problema recurrente en investigación en general y no es la excepción en la modelación de ecuaciones estructurales, por tal motivo se seleccionan variables observadas que generen constructos en base a la revisión de la literatura de seis sigma.

2.5.2 Confiabilidad y Validez de la Escala de Medición

Para el desarrollo de modelación con ecuaciones estructuradas, donde los datos de entrada servirán para generar un modelo, es esencial que las escalas (constructos) y sus elementos que lo conforman sean tanto confiables como válidos. La escala se refiere al concepto que se desea medir a través de varios reactivos (también llamados: elementos o ítems) y la confiabilidad de la escala se refiere a grado en el que la escala es libre de error aleatorio, el cual puede ser error involuntario al calificar o al elegir aleatoriamente una respuesta entre múltiples opciones. La confiabilidad se calcula al restar a 1 la proporción de varianza observada que es debida al error aleatorio (Kline, 2005). En el caso de la validez, esta concierne a la robustez de las inferencias basadas en las escalas obtenidas, esto es que las escalas midan lo que se supone que deben medir, pero que también no midan lo que se supone no deban de medir (Thompson, 2003). En ese sentido la mayoría de formas de validación de escalas están incluidas bajo el concepto de validez de constructo, la cual implica determinar si la escala mide el constructo hipotético que el investigador estipula.

2.5.3 Índice de Alfa de Cronbach.

El estimado de confiabilidad que comúnmente es reportado es el coeficiente alpha de Cronbach (α), el cual mide la confiabilidad de la consistencia interna, es decir el grado en el cual las respuestas son consistentes entre los reactivos o elementos dentro de una misma medida. Si la consistencia interna es baja, el contenido de los elementos puede ser tan diferente que la calificación total no es la mejor unidad posible para el análisis de la escala (Kline, 2005). Este índice presenta valores entre 0 y 1, los valores cercanos a 1 son considerados aceptables, es decir, se trata de escalas confiables y a su vez instrumento confiable y hace que sus mediciones sean estables y consistentes, pero si su valor está por debajo del 0.60 el instrumento que se está evaluando presenta una variabilidad heterogénea en sus elementos y por lo tanto nos llevará a conclusiones erróneas. La fórmula para calcular el alfa de Cronbach a partir de la correlación entre los objetos es:

$$\alpha = \frac{k \cdot p}{1 + p(k - 1)}$$

Dónde k = número de objetos, y p = el promedio de correlación lineal entre cada objeto

Por su parte, el alfa de Cronbach a partir de la Varianza es:

$$\alpha = \left[\frac{k}{k - 1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right]$$

Para determinar el coeficiente α de Cronbach, se calcula la correlación de cada reactivo o "ítem" con cada uno de los otros, resultando en una gran cantidad de coeficientes de correlación. El valor de α es promedio de todos los coeficientes de correlación (Cozby, 2005), y no es un estadístico de uso, por lo que no viene acompañado de ningún p-valor que permita rechazar la hipótesis de confiabilidad en la escala. No obstante, cuanto más se aproxime a su valor máximo 1, mayor es la fiabilidad de la escala.

Además, en determinados contextos se considera que valores del alfa superiores a 0,7 ó 0,8 (dependiendo de la fuente) son suficientes para garantizar la fiabilidad de la escala. Algunos autores difieren con respecto al valor mínimo para que una prueba sea confiable, al respecto Devellis (2005) plantea la siguiente escala de valoración para el alfa de Cronbach.

- Por debajo de 0.60 Inaceptable,
- De 0.65 a 0.70 Mínimamente aceptable,
- De 0.70 a 0.80 Respetable,
- De 0.80 a 0.90 Muy buena,

En cambio (Hogan, 2004) ofrece la siguiente valoración:

- Mayor que 0.90 nivel elevado de confiabilidad,
- Mayor que 0.80 y menor que 0.90, nivel de confiabilidad moderada,
- Mayor que 0.70 y menor que 0.80, nivel considerado bajo,
- Menor que 0.70, Inaceptable.

La confiabilidad de la escala es muy importante, especialmente cuando se tiene un solo indicador de medición, es decir que sólo hay una variable observada para cada constructo (Kline, 2011). Una forma de evitar esto es empleando un indicador de medida múltiple, en donde más de un variable observada es usada para medir el mismo constructo. De esta manera se puede reflejar más aspectos de cada constructo y a su vez la confiabilidad de la medición tiende a ser más alta.

2.5.4 Validez de la Calificación

En cualquier estudio o proyecto que se realice, cuando se termina de recopilar la información y datos, siempre se debe cuestionar la validez de la información (Hernández et al. 1997); la validez consiste en asegurarnos de que estamos midiendo lo que realmente nos dispusimos a medir, para este fin se realizó un análisis factorial confirmatorio con objeto de depurar definitivamente la escala de medida. Al respecto, se recomienda realizar pruebas para la validez de la calificación como la prueba de esfericidad de Barlett es decir, la prueba de que la matriz de intercorrelación de los datos es significativamente diferente a una matriz identidad.

Asimismo la prueba Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), la cual mide el nivel de factorización de variables, indicando valores de 0 a 1 donde 1 es un nivel de factorización alto. A su vez, las comunalidades o las sumas de cuadrados de las cargas factoriales de cada variable son otra prueba a realizar por medio de los componentes principales rotados utilizando varimax principalmente.

2.6 Modelación de Ecuaciones Estructurales.

En la actualidad los investigadores se ven obligados a recoger un gran número de datos para poder captar de forma adecuada la complejidad de los fenómenos de las diferentes ciencias. Para tratar con este conjunto de muestras se han desarrollado métodos multivariados, los cuales permiten analizar simultáneamente conjuntos amplios de variables. El principal impulso en la utilización de estos métodos y técnicas ha sido el desarrollo de paquetes de software que permiten implementar con cierta facilidad los numerosos cálculos que demandan estas técnicas. El número de métodos y técnicas multivariados que se utilizan es bastante amplio, entre las más comunes destacan la regresión múltiple, análisis factorial, análisis multivariado de la varianza, y el análisis discriminante entre otras técnicas. Sin embargo estas técnicas sólo pueden examinar una relación al mismo tiempo.

El término Modelación de Ecuaciones Estructurales MEE (Structural Equation Modeling, SEM) no es asignado a una sola técnica estadística, sino que se refiere a una familia de procedimientos relacionados como “análisis estructural de covarianzas”, “modelación estructural de covarianzas”, “análisis de estructuras de covarianzas” y “modelación causal” (Kline, 2011). De hecho MEE puede ser visto como un modelo general de muchos modelos estadísticos comúnmente empleados como análisis de varianza, análisis de covarianza, regresión múltiple, análisis factorial, análisis de senderos (path analysis), modelos econométricos de ecuaciones simultáneas, modelación no recursiva, modelación multinivel, y modelación de curvas de crecimiento latentes (Bowen & Guo, 2012). Fue su creador Karl Jöreskog quien integró estas técnicas en una sola plataforma, tomó la teoría de ecuaciones simultáneas de la econometría, la teoría path analysis de la genética y de la sociología, así como la teoría de análisis factorial de la psicometría (Kaplan D. , 2009)

La Modelación de Ecuaciones Estructurales MEE usa varios tipos de modelos para las relaciones entre variables observadas, con el objetivo de proveer una prueba cuantitativa de un modelo teórico hipotético (Schumacker & Lomax, 2010) e inclusive, varios modelos teóricos pueden ser probados, donde se hipotetiza cómo un conjunto de variables definen constructos y como estos constructos son relacionados con otros constructos. MEE prueba estos modelos teóricos usando el método científico de prueba de hipótesis para avanzar en la comprensión de relaciones complejas entre constructos.

MEE se ha convertido en una metodología popular para investigación no experimental, donde los métodos para prueba de teorías no han sido bien desarrollados y donde consideraciones éticas hacen inviable a los diseños de experimentos (Bentler, 1988). Para Schumacker y Lomax (2010) la metodología permite que fenómenos complejos sean estadísticamente modelados y probados, de esa manera es muy utilizada para confirmar o negar modelos teóricos de una manera cuantitativa, y es que MEE tiene un enfoque estadístico exhaustivo para probar hipótesis acerca de las relaciones entre variables observadas y latentes (Hoyle, 1995). De hecho tiene un sentido confirmatorio para el análisis de una teoría estructural concerniente a algún fenómeno (Byrne B. , 2010).

El objetivo del análisis MEE es determinar en qué grado un modelo teórico es soportado por los datos muestrales (Schumacker & Lomax, 2010). A su vez, el objetivo general en la modelación de ecuaciones

estructurales es alcanzar un modelo parsimonioso con pocas relaciones de significado sustantivo y un buen ajuste de modelo global. En este sentido MEE conlleva dos aspectos importantes: (a) el proceso causal bajo estudio es representado por una serie de ecuaciones estructurales y (b) que estas relaciones estructurales pueden ser modeladas pictóricamente para permitir aclarar el concepto de la teoría bajo estudio (Byrne B. , 2010). Por su parte, Kline (2005) menciona que existen una serie de características que definen la modelación de ecuaciones estructurales y son:

1. MEE es una metodología *a priori* y requiere que se piense en términos de modelos;
2. Se representa explícitamente la diferencia entre variables observadas y variables latentes, lo que permite probar una variedad de hipótesis;
3. El estadístico básico es la covarianza, sin embargo se puede analizar las medias;
4. La técnica MEE no es sólo para datos no experimentales sino también para datos experimentales.

Una distinción adicional de los modelos de ecuaciones estructurales es la capacidad de representar conceptos no observados en estas relaciones y tener en cuenta el error de medida en el proceso de estimación. A su vez la diferencia más observable entre los sistemas de ecuaciones estructurales y las otras técnicas de análisis multivariable es la capacidad de analizar relaciones para cada subconjunto de variables. Además de permitir interrelaciones entre algunas variables de estos subconjuntos. Los sistemas de ecuaciones estructurales permiten además de estimar relaciones múltiples, introducir conceptos o variables latentes al análisis, mientras que las interrelaciones establecidas fortalecen las correlaciones utilizadas. De esta manera se puede realizar estimaciones más precisas de los coeficientes estructurales. MEE también permite formular modelos complejos que son más realistas, mientras se involucran numerosas variables (Mulaik, 2009). Al respecto Sánchez et al. (2005) complementa que MEE son una clase flexible de modelos que permite un modelado complejo de datos multivariados y múltiples predictores relacionados.

2.6.1 Conceptos y Estrategias de Modelación

La flexibilidad de los sistemas de ecuaciones estructurales permite a los investigadores utilizar la técnica de múltiples formas y en función de los objetivos a conseguir. Sin embargo se debe seleccionar al inicio de la investigación que estrategia quiere seguir para alcanzar su propósito. Para Jöreskog (1993) existen tres estrategias o contextos en la generación de modelos, el primero es cuando el investigador tiene un modelo *a priori*, es decir es una aplicación de MEE confirmatorio estrictamente, donde el investigador tiene un sólo modelo que es aceptado o rechazado basado en los datos correspondientes. El segundo contexto implica probar varios modelos alternativos *a priori* y luego seleccionar el modelo con mejor correspondencia a los datos. El tercer contexto es probablemente el más común y ocurre cuando el modelo inicial no ajusta con los datos y es modificado subsecuentemente por el investigador y probado con los mismos datos, es decir, se mejora a través de modificaciones de los modelos de medición y/o estructurales buscando reespecificar un modelo básico de teoría para encontrar uno nuevo. En general el objetivo de todo este proceso de generación de

modelos, es descubrir un modelo con tres propiedades: que tenga sentido teórico, que sea razonablemente parsimonioso y que su correspondencia con los datos es muy cercana (Kline, 2011).

La Figura 2 resume las distintas fases en la obtención de un modelo de ecuaciones estructurales, a partir de un modelo teórico, el cual se intentará contrastar estadísticamente, y finaliza con una validación del modelo.

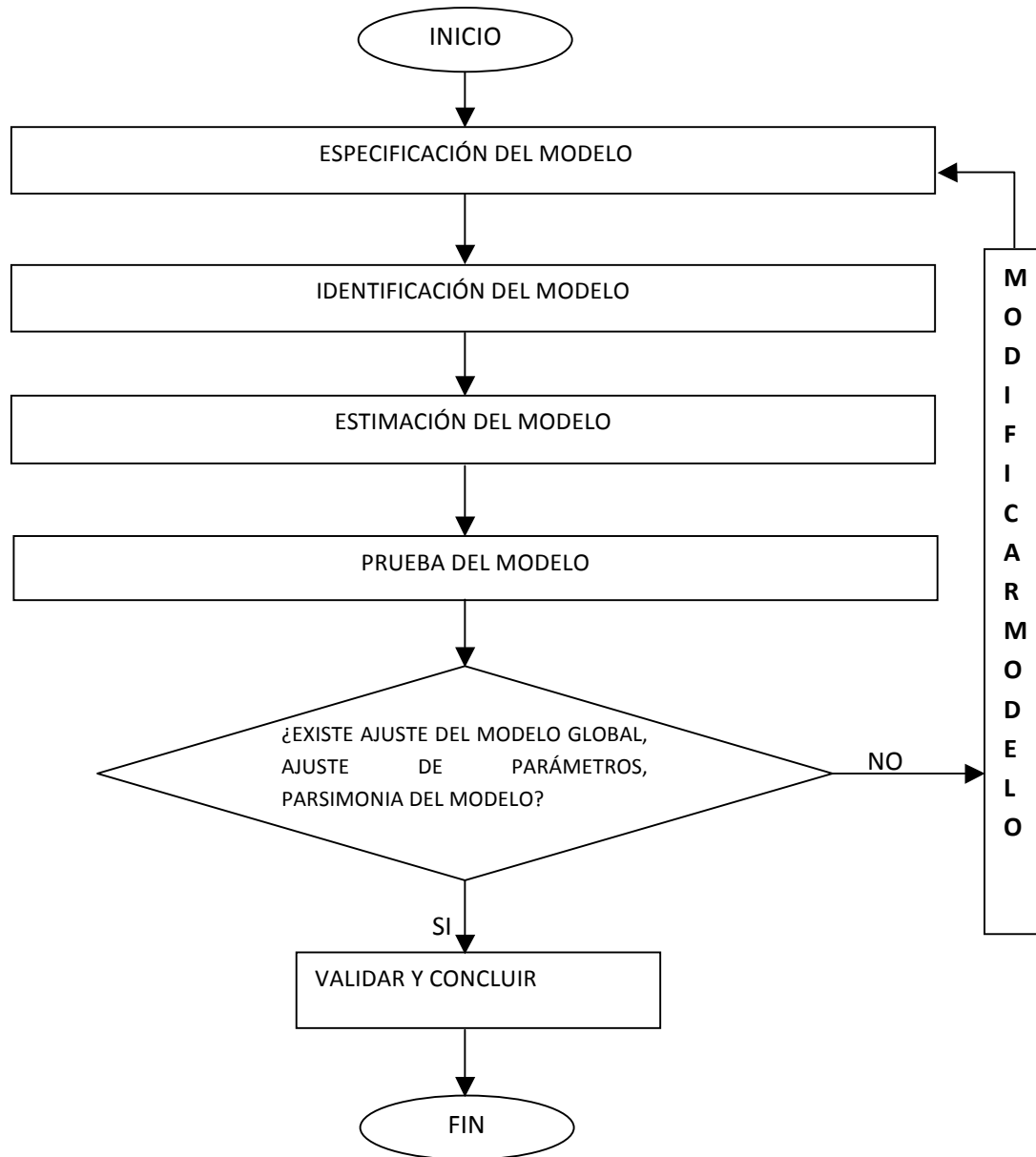


Figura 2. Fases de un Modelo de Ecuaciones Estructurales, Elaboración Propia a Partir de Schumaker y Lomax 2010.

La falta de confirmación de una o varias hipótesis establecidas en la elaboración del modelo de ecuación estructural conlleva a la modificación de éste, manteniendo un significado lógico-sustantivo,

además de una significancia estadística. Toda modificación del modelo inicial lleva forzosamente a la repetición de todo el análisis estadístico. El proceso de análisis acaba en el momento en que se consigue un modelo con un nivel de ajuste (global o parcial) igual o superior al establecido previamente.

2.6.1.1 Tipos de variables

Lo que comúnmente se define como variable independiente “x” y variable dependiente “y”, en MEE se define como variable latente independiente y variable latente dependiente respectivamente. A su vez las variables latentes, ya sea dependiente o independiente son creadas con variables observadas, ya sea de manera estadística con análisis factorial exploratorio o con análisis factorial confirmatorio derivado de suficiente teoría del tema. Así pues, hay dos grandes tipos de variables en MEE: las variables observadas o indicadores y las variables latentes o constructos.

Variabes latentes. También conocidos como constructos, son variables no observadas o medidas directamente, sino indirectamente, es decir, los constructos son inferidos en base a las variables observadas (Schumacker & Lomax, 2010). Por ejemplo la variable latente *Éxito al implementar seis sigma*, es un constructo de orden organizacional y no es observado o medido directamente, pero puede ser estimado en base a variables como nivel de reducción de variación, satisfacción del cliente, reducción de costos-aumento de ganancias, autoestima del personal y experiencia.

Variabes observadas. También conocidas como variables manifiestas o indicadores, son variables que son directamente observables o medibles. En general son las variables que fueron colectadas. Las variables observadas pueden ser categóricas, ordinales o continuas. Por ejemplo el nivel de frecuencia del seguimiento a proyectos seis sigma (diario, semanal, catorcenal, mensual o más tiempo) se considera una variable observada ordinal.

En resumen, para Skrondal y Rabe-Hesketh (2004), una variable latente es una variable aleatoria cuyo origen no está a la vista. Esto contrasta con la variable observada la cual su origen es observable.

Variable endógena. Es la variable que recibe efecto de otra variable. Por ejemplo, la variable dependiente de un modelo de regresión es endógena. Toda variable endógena debe ir acompañada de un error de predicción.

Variable exógena. Variable que afecta a otra variable y que no recibe efecto de ninguna variable. Las variables independientes de un modelo de regresión son exógenas.

A diferencia de las variables exógenas, las causas presumidas de las variables endógenas son explícitamente representadas en el modelo (Kline, 2011). Las variables observadas pueden ser indicadores de variables latentes en el modelo de medición, es decir pueden ser variables exógenas. En el modelo estructural pueden igualmente ser variables independientes (exógenas) o dependientes (endógenas). A su vez, todas estas variables interactúan en la modelación de ecuación estructural a partir de dos sub-modelos o componentes:

1. El modelo estructural;
2. El modelo de medición.

2.6.1.2 Tipos de errores

El *error de especificación*, caracterizado por la omisión de una o más variables predictivas claves, es el más crítico en el desarrollo de modelos de fundamentación teórica. La consecuencia de omitir una variable significativa consiste en sesgar la evaluación de la importancia de otras variables. Por su parte el *error de medición único* se refleja por flechas que apuntan a cada variable observada y muestra que alguna porción de cada variable observada puede estar midiendo algo más que la variable latente hipotetizada. Finalmente los *errores de medición correlacionados*, se reflejan cuando una flecha curvada apunta mutuamente a dos errores de medición únicos. Esto sucede cuando están compartiendo algo en común, ya sea que la misma medición para la variable se realizó a otra variable o por que usan el mismo método de medición.

2.6.1.3 Representación gráfica de los modelos de ecuaciones estructurales

Sewell Wright (1921), desarrolló el diagrama de flechas o diagrama de senderos (path diagram) que actualmente se utiliza a manera de mostrar un modelo de ecuaciones estructuradas ver Figura 3. A su vez, la forma de denotar las variables es consistente con la notación LISREL³, donde las *variables observadas* se representan con un cuadro o rectángulo, mientras que las *variables latentes* son representadas a través de un círculo o una elipse, aunque los errores de predicción (en el modelo estructural) y de medición (en el modelo de medición) pueden no aparecer en un círculo, es decir, libres. Las flechas rectas y unidireccionales indican *relaciones causales* entre variables exógenas ξ y variables endógenas η . Las variables exógenas tienen flechas unidireccionales saliendo de ellas, mientras las variables endógenas tienen flechas apuntando hacia ellas, por este motivo es imposible encontrar una flecha terminando en una variable exógena. Por su parte las *correlaciones* (forma estandarizada) o *covarianzas* (forma no estandarizada) son representadas a través de flechas bidireccionales y curvas. Casi todas las covarianzas son entre variables exógenas. Asimismo, la falta de flecha entre variables significa que éstas no están directamente relacionadas, aunque indirectamente puedan estarlo. En estos casos el coeficiente estructural es cero.

³ Linear Structural Relations (Lisrel), fue el primer enfoque conocido de Modelación de Ecuaciones Estructurales y desarrollado por Jöreskog, Keesling y Wiley (1972)

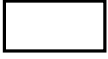



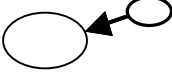
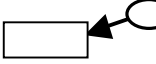
	VARIABLES OBSERVADAS O MANIFESTADAS.
	VARIABLES LATENTES.
	FLECHA DE RELACIÓN CAUSAL UNIDIRECCIONAL (EFECTO DIRECTO).
	FLECHA BIDIRECCIONAL (COVARIANZA O CORRELACIÓN).
	ERROR DE PREDICCIÓN DE VARIABLE LATENTE O PERTURBACIÓN.
	ERROR DE MEDICIÓN EN VARIABLE OBSERVADA.

Figura 3. Representación Gráfica de Variables en la Modelación de Ecuaciones Estructurales.

Elección de la matriz de entrada. El modelado de ecuaciones estructurales se diseñó para analizar matrices de varianza-covarianza, sin embargo es posible utilizar matrices de correlación⁴ como ocurre en otras técnicas como el análisis de regresión o el análisis factorial, ya que favorecen la comparación de coeficientes estructurales y colabora en la interpretación de resultados, en especial a comprender el modelo de relaciones entre los constructos. Sin embargo, si se desea comparar muestras o poblaciones diferentes en lugar de comparar distintas variables de una misma muestra es más adecuado utilizar las matrices de varianzas-covarianzas (Fernandez, 2004).

Para la generación del modelo se cubren cinco fases que a continuación se desarrollan y que son las que típicamente caracterizan la mayoría de aplicaciones de MEE (Bollen & Long, 1993), estos son: *especificación de modelo, identificación, estimación, prueba de ajuste y modificación/re-especificación.*

2.6.2 Especificación de Modelo

En esta etapa se utiliza toda la teoría e información relevante para desarrollar un modelo teórico en particular que implique las variables a considerar así como sus relaciones entre éstas que son de interés para la investigación; esta es la parte más difícil de MEE (Cooley, 1978). Un modelo está correctamente especificado sí el modelo verdadero poblacional es consistente con el modelo teórico estimado, en otras palabras si la matriz de covarianza muestral S es reproducida suficientemente por el modelo teórico estimado. Sí no es consistente, se dice que *no está especificado* y se puede deber a la falta o inclusión de variables o parámetros (Schumacker & Lomax, 2010). A su vez un modelo no especificado puede producir parámetros sesgados, lo que se le llama *error de especificación.*

⁴ La matriz de correlación, es la matriz de varianzas-covarianzas estandarizada.

2.6.3 Identificación del Modelo

Antes de estimar parámetros se debe de resolver el problema de identificación, en el cual se debe determinar si sólo un único grupo de estimados de parámetros puede ser encontrado para el modelo especificado (Bollen & Long, 1993), así como la información que tenemos acerca de las variables (Bollen & Curran, 2006). Cuando existe la posibilidad de que los datos encontrados se ajusten igualmente a más de un modelo teórico estimado se dice que se tiene una *indeterminación*. En estos casos, el problema es que no se tienen suficientes restricciones en el modelo para obtener estimados únicos. Para resolver esto, se deben indicar ciertas restricciones en el modelo, es decir se debe identificar los valores de algunos parámetros, pero antes de esto se debe entender que cada parámetro en el modelo puede ser un parámetro *libre*, *fijo* o *restringido*.

El **Parámetro libre** es desconocido y por lo tanto es necesario estimarlo, el **parámetro fijo** no es libre y debe ser identificado típicamente con valores de 0 ó 1. A su vez el parámetro **restringido** se considera desconocido pero se especifica que sea igual a uno o más parámetros. Así pues la identificación del modelo depende de la designación de los parámetros que serán fijos, libres o restringidos. De esta manera sí todos los parámetros del modelo están identificados, el modelo está identificado; si uno o más de los parámetros del modelo no están identificados, el modelo no está identificado. Al respecto Hoyle (1995) establece que la identificación conlleva la correspondencia entre la información a ser estimada por *parámetros libres* y la información de donde será estimada *las varianzas y covarianzas observadas*. A su vez, el número de distintos valores en la matriz S , es decir los distintos momentos muestrales, es igual a

$$p(p + 1)/2$$

Donde p es el número de variables observadas en la matriz muestral de varianzas-covarianzas. Ahora bien, al determinar la identificación del modelo, primero se evalúa la *condición de orden*, es decir el número de parámetros libres a ser estimados debe ser menor o igual al número de distintos valores en la matriz S .

2.6.3.1 Modelo estructural

El modelo estructural es aquel componente del modelo general que describe relaciones causales entre variables latentes. El modelo propuesto se compone de la variable latente exógena " ξ " y variables latentes endógenas " η ". Se tiene también en el modelo estructural el coeficiente " γ " el cual relaciona la variable latente exógena ξ con la endógena η o variable a explicar. Este coeficiente indica que una unidad de cambio en la variable exógena ξ resulta en un cambio en η por γ unidades, manteniendo todas las otras variables constantes. Por su parte los coeficientes β relacionan las variables latentes endógenas entre sí. Cada β_{ij} indica una unidad de cambio en la variable endógena η_i , manteniendo todas las demás variables constantes. Para cada efecto hipotetizado de una variable latente endógena en otra de las mismas características, se tendrá un coeficiente estructural β_{ij} . Así pues tenemos que cada coeficiente estructural, ya sea γ ó β , se interpreta como efectos directos en las variables

endógenas. Además se indican los errores de predicción o términos de perturbación δ , respectivamente para cada variable endógena.

Finalmente, las ecuaciones estructurales lineales representan la línea de causalidad entre las variables latentes endógenas. Hay tantas ecuaciones como constructos endógenos sean explicados por otras variables exógenas (latentes u observadas), para un modelo propuesto se tienen constructos endógenos y la estructura de las ecuaciones estructurales lineales es la siguiente:

$$\eta = \beta\eta + \Gamma\xi + \delta$$

Donde:

“ η ” (eta) es un vector “ $p \times 1$ ” de variables endógenas latentes (variables explicadas por otras incluidas en el modelo).

“ ξ ” (xi) es un vector “ $q \times 1$ ” de variables exógenas latentes (variables no explicadas por otras incluidas en el modelo).

“ Γ ” (gamma) es una matriz “ $p \times q$ ” de coeficientes (γ_{ij}) que relacionan las variables latentes exógenas (ξ) con las endógenas (η) o variables a explicar. Indican que una unidad de cambio en la variable exógena ξ_i resulta en un cambio en η_j γ_{ij} unidades, manteniendo todas las otras variables constantes. Este coeficiente se interpreta, al igual que Π_{ij} como efectos directos en las variables endógenas.

“ β ” (beta) es una matriz “ $q \times q$ ” de coeficientes que relacionan las variables latentes endógenas entre sí. Cada β_{ij} indica una unidad de cambio en la variable endógena η_i , manteniendo todas las demás variables constantes. Para cada efecto hipotetizado de una variable latente endógena en otra, de las mismas características, se tendrá un coeficiente estructural β_{ij} .

“ δ ” (delta) es un vector “ $q \times 1$ ” de errores o términos de perturbación. Indican que las variables latentes no son perfectamente predichas por las ecuaciones estructurales.

2.6.3.2 Modelo de medición

El modelo de medición representa las relaciones de las variables latentes (o constructos) con sus indicadores (o variables observadas). Para cada constructo que aparezca en el modelo es necesario determinar cuáles serán sus indicadores. Estas variables latentes resultan de las covarianzas entre dos o más indicadores, es decir son las que representan a los conceptos en los modelos de medición. El objetivo fundamental del modelo de medición es corroborar la idoneidad de los indicadores seleccionados en la medición de los constructos de interés. La estructura general de las relaciones entre las variables latentes y sus indicadores se describen de la siguiente forma:

$$X = \Lambda_x \xi + \delta$$

Donde:

“X” es un vector “p X 1” de variables observadas independientes o exógenas. Aquellas que no son explicadas por otras variables incluidas en el modelo. “p” es el número de indicadores de “ξ”.

“ξ” (xi) es un vector “q X 1” de variables latentes exógenas.

“Λ_x” (lambda) es una matriz “p X m” de pesos factoriales (o “factores de carga”: “λ_i”) que relacionan las variables manifiestas “X” con las latentes “ξ”, “m” expresa el número de variables latente “ξ”. Los coeficientes lambda representan las influencias lineales de las variables latentes en los indicadores.

“δ” (delta) es un vector “p X 1” de errores de medición. Convencionalmente, cada indicador se representa siendo también influido por un término de error.

La ecuación del modelo de medición mide la relación entre variables exógenas latentes y observadas, a su vez las interrelaciones entre las variables latentes se indican mediante sus covarianzas, y las relaciones de las variables latentes con sus indicadores se definen como “direccionales”, de cada variable latente a su manifiesta, y no a la inversa.

Para las variables endógenas existe un modelo de medición. En este caso, las relaciones entre las variables endógenas latentes y las manifiestas se describen con la ecuación:

$$Y = \Lambda_Y \eta + \varepsilon$$

Donde:

“Y” es un vector “q X 1” de variables observadas dependientes.

“Λ_Y” es una matriz “q X n” de coeficientes factoriales de Y en las variables endógenas latentes “η”. “n” identifica el número de “η”. Esta matriz muestra las relaciones de “η” a “γ”.

“ε” (épsilon) es un vector “q X 1” de errores de medición (factores únicos) de los indicadores endógenos “Y_i”.

Definición del modelo de medición. Dado que las variables latentes no son observadas, por lo tanto no tienen escala definida de medición, se debe definir primero el origen y su unidad de medición. El origen de una variable latente es asumido usualmente a tener un promedio de 0. La unidad de medición (varianza) de una variable latente puede ser indicada utilizando dos enfoques, el primero es fijar un factor de carga de 1 a una variable observada. En este caso la variable observada seleccionada usualmente representa el mejor indicador de la variable latente y es llamado *variable de referencia*. El segundo enfoque es asumir que las variables latentes tienen una unidad de medición estandarizada y se fija la varianza de la variable latente a 1 (Jöreskog & Sörbom, 1993). El modelo de ecuaciones estructurales es resultado de la combinación del modelo estructural y del modelo de medición de cuyo resultado aparece un modelo comprensivo de relaciones entre variables endógenas y exógenas, latentes y manifiestas (Fernandez, 2004). El modelo de medición de variables latentes exógenas se muestra en la Figura 4.

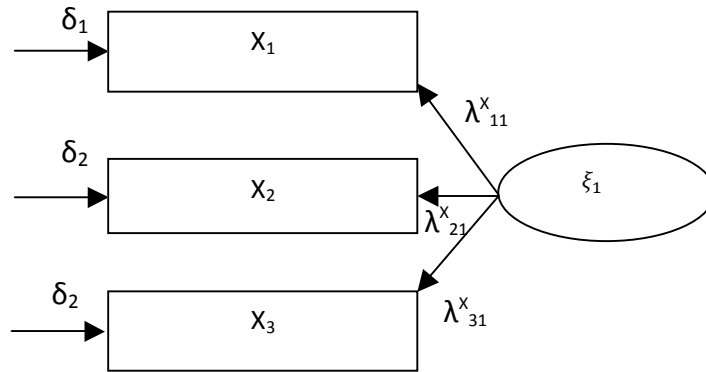


Figura 4. Ejemplo de Modelo de Medición de las Variables Latentes Exógenas

Se aprecian tres variables observadas X_1 , X_2 y X_3 , las cuales son explicadas por los factores de carga λ_{11}^X , λ_{21}^X y λ_{31}^X y que relacionan las variables observadas X con la latente ξ_1 , es decir, representan las influencias lineales de las variables latentes en las variables observadas. Por último los errores de medición δ_1 , δ_2 y δ_3 de cada variable observada, complementan las ecuaciones

$$X_1 = \lambda_{11}^X \xi_1 + \delta_1$$

$$X_2 = \lambda_{21}^X \xi_1 + \delta_2$$

$$X_3 = \lambda_{31}^X \xi_1 + \delta_3$$

Por su parte, el ejemplo de modelo de medición de las variables latentes endógenas de la Figura 5, muestra que para la variable latente endógena η_1 se tienen tres variables observadas Y_1, Y_2, Y_3 las cuales son explicadas por los coeficientes de regresión $\lambda_{11}^Y, \lambda_{21}^Y$ y λ_{31}^Y .

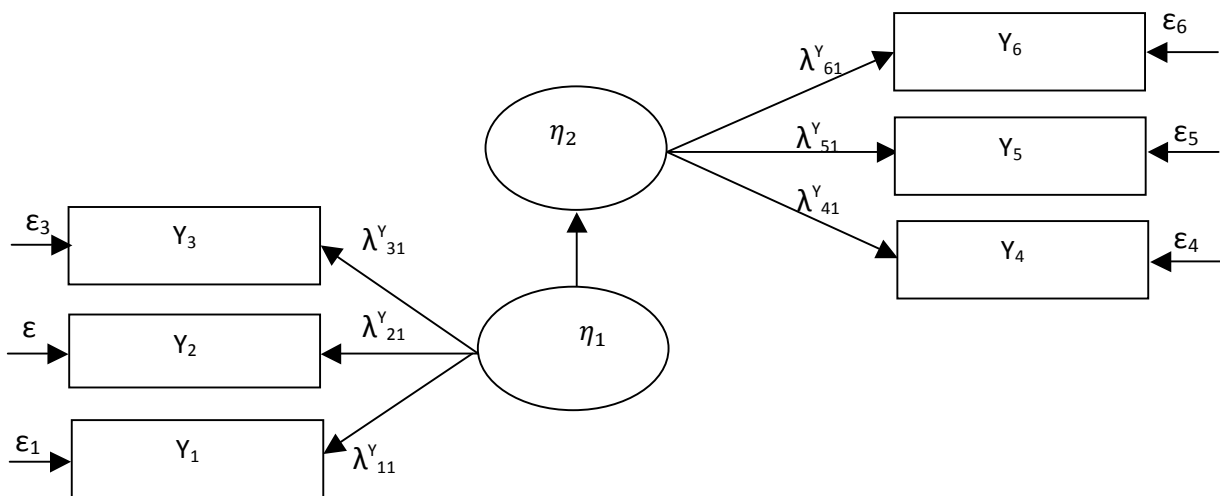


Figura 5. Ejemplo de Modelo de Medición de las Variables Latentes Endógenas

A su vez, las variables observadas presentan respectivamente un error de medición $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ y ε_3 . Las ecuaciones estructurales para esta variable latente se pueden describir como sigue

$$Y_1 = \lambda_{11}^Y \eta_1 + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = \lambda_{21}^Y \eta_1 + \varepsilon_2$$

$$Y_3 = \lambda_{31}^Y \eta_1 + \varepsilon_3$$

2.6.4 Estimación de Modelo

En esta etapa se obtienen los estimados de los parámetros libres desde los datos observados en el modelo que produce la matriz estimada Σ , de tal manera que sean lo más parecido posible a la matriz muestral de covarianzas S de las variables observadas. Cuando la diferencia de los elementos de la matriz S y Σ es igual a cero, $S - \Sigma = 0 \therefore \chi^2 = 0$ es decir, el modelo se ajusta perfectamente a los datos. Este proceso de estimación involucra funciones de ajuste para minimizar la diferencia entre S y Σ . A pesar de que se pueden usar métodos de una sola etapa que emplean cuadrados mínimos como Anova o regresión múltiple, son los métodos iterativos como *Máxima Verosimilitud (Maximum likelihood ML)* o *Cuadrados Mínimos Generalizados (Generalized least squares GLS)* los preferidos (Hoyle, 1995) y de estos, Máxima verosimilitud (ML) es más eficiente y no sesgada cuando se cumplen los supuestos de normalidad multivariable.

Algunas funciones adicionales a utilizar son cuadrados mínimos no ponderados u ordinales (ULS-OLS) y cuadrados mínimos ponderados (Weighted least squares WLS), éste último considerado también un estimador asintótico de libre distribución, ya que al requerir una muestra grande, no depende de supuestos de normalidad. A su vez, dependiendo de características de los datos, se puede incluir en el análisis la correlación tetracórica, poliserial y policórica en lugar de la correlación de Pearson o de procedimientos ponderados de libre distribución. En resumen se recomienda el uso de la estimación con Máxima Verosimilitud (ML) cuando se tienen datos de intervalo u ordinales con poca o moderada anormalidad, y utilizar cuadrados mínimos ponderados (WLS), cuadrados mínimos generalizados (GLS) o (ADF) cuando se tienen anormalidad severa (Schumacker & Lomax, 2010).

2.6.4.1 Supuestos del modelo

El método de estimación de parámetros de máxima verosimilitud asume normalidad multivariada, lo que significa que todas las distribuciones univariadas son normales, que la distribución conjunta de cualquier par de variables es bivariada normal y que todos los diagramas de dispersión son lineales y homoscedásticos. Debido a que es comúnmente impráctico examinar todas las distribuciones de frecuencia conjunta, puede ser difícil evaluar todos los aspectos de la normalidad multivariada (Kline, 2005). En este sentido una distribución anormal multivariada puede ser detectable a través de sesgo o curtosis de las respectivas distribuciones univariadas (Harrington, 2009).

El **Sesgo** es una medida de cómo es la asimetría de una distribución unimodal (Harrington, 2009). Si una curva de frecuencias de una distribución tiene una cola más larga hacia la derecha del máximo

central, se dice que la distribución es sesgada a la derecha, o que tiene sesgo positivo. Si ocurre lo contrario, se dice que tiene un sesgo negativo. Una forma de calcular el sesgo es la siguiente:

$$sesgo = \left[\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \right]$$

Un sesgo con valor cero o cercano a cero, indica datos simétricos, a su vez, valores negativos indican sesgo a la izquierda y positivos indican sesgo a la derecha.

Por su parte la **Curtosis** indica la densidad de las colas relativa a la parte del medio de la distribución, y es el promedio del cuarto momento de las desviaciones sobre el promedio (Kleinbaum, Kupper, Nizam, & Muller, 2008). En otras palabras indica que tan puntiaguda es una distribución; pico relativamente alto se le conoce como leptocúrtica, o si es relativamente aplastada se dice platicúrtica. Si no es puntiaguda ni muy aplastada se llama mesocúrtica. La curtosis se calcula de la siguiente manera

$$curtosis = \left[\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 \right] - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

A su vez, la curtosis igual a cero o cerca de cero indica datos normales, curtosis negativa indica una distribución que es más plana y curtosis positiva indica una distribución más puntiaguda.

Una alternativa para detectar anormalidad es analizar los valores estandarizados absolutos de sesgo y curtosis, tal como sugiere Curran et al. (1997) quien realizó en su trabajo simulaciones computacionales de los métodos de estimación de MEE y encontró que valores absolutos de sesgo mayores que 3.0 parecen ser extremadamente sesgados. A su vez valores absolutos de curtosis mayores que 10 sugieren problemas de normalidad (Kline, 2005).

Otras alternativas para detectar anormalidad se han dado recientemente, y es que durante los últimos 15 a 20 años, numerosos estudios se han conducido respecto al desempeño de los métodos de estimación bajo diferentes condiciones. En su estudio Lomax (1989) estipula que, cuando se trabaja con datos categóricos que muestren valores de sesgo y curtosis de pequeño a moderado, es decir de -1 a +1, ó de -1.5 a +1.5 se debe trabajar con el estimador de máxima verosimilitud; estos son resultados similares encontrados por Fan y Wang (1998), y por Lei y Lomax (2005) que con su trabajo de simulación además sugiere en el caso de anormalidad severa usar estimadores de libre distribución o procedimientos ponderados como WLS, ADF o GLS. Esto último confirmado recientemente por Schumacker y Lomax (2010).

2.6.4.2 Prueba de Ajuste del Modelo

Una vez estimados los parámetros del modelo propuesto, se debe determinar que tan bien los datos se ajustan al modelo, es decir, ¿en qué medida el modelo teórico estimado es soportado consistentemente con los datos de la muestra? En este sentido, hay dos aproximaciones de prueba. La primera opción es considerar un tipo de prueba global que mida el modelo completamente, a esta opción se le llama **criterio de ajuste de modelo**. La segunda opción es examinar el ajuste de los parámetros individuales en el modelo, es decir **criterio de ajuste por parámetros**.

Criterio de ajuste del modelo. En MEE, no hay un único índice de ajuste de modelo como lo hay en otros procedimientos estadísticos como es en *Anova* y su prueba *F*, en lugar de eso existe una gran cantidad de índices de ajuste de modelo, de los cuales la gran mayoría compara la matriz Σ de covarianzas del modelo estimado con la matriz S de covarianzas muestral (**Schumacker & Lomax, 2010**). Sí S y Σ son similares, entonces se pudiera encontrar que los datos ajustan el modelo teórico, en caso contrario no ajustaría al modelo. Para analizar el ajuste global del modelo de ecuaciones estructurales a través de índices se pueden emplear distintas técnicas. Existen tres grupos genéricos de índices de ajuste del modelo: los índices de ajuste absoluto, los índices de comparación de modelos y los índices de ajuste parsimonia.

2.6.4.2.1 Índices de Ajuste Absoluto

Miden el ajuste global del modelo, considerando la diferencia entre la matriz de varianzas y covarianzas observada y predicha (matriz residual). De los índices incluidos en este grupo el de mayor aplicación es el índice de razón de verosimilitud o Chi cuadrada χ^2 , así como los índices GFI y AGFI.

Chi cuadrada- χ^2 . Es el único que proporciona una prueba de significancia estadística. Un valor significativo de χ^2 relativo a los grados de libertad indica que la matriz de varianza-covarianza observada y la matriz de varianza-covarianza estimada son diferentes. Esta significancia indica la probabilidad de que esta diferencia se debe a variación de muestreo (Schumacker & Lomax, 2010).

$$\chi^2 = (n - 1)F_{ML}$$

Un valor no significativo indica que las dos matrices son similares, es decir el modelo teórico estimado reproduce las relaciones en la matriz muestral.

Índice de bondad de ajuste (Goodness of Fit Index-GFI). Está basado en la razón de la suma de las diferencias al cuadrado entre la matriz observada S y la matriz estimada Σ . GFI mide la cantidad de varianza y covarianza en S que es predicha por la matriz Σ . Este índice a diferencia de Chi cuadrada no depende del tamaño de la muestra observada (Schumacker & Lomax, 2010).

$$GFI = 1 - \left[\chi^2_{modelo} / \chi^2_{nulo} \right]$$

Índice equilibrado -ajustado- de bondad de ajuste (Adjusted Goodness of Fit Index-AGFI). Es ajustado por los grados de libertad de un modelo relativo al número de variables. Este índice es calculado de la siguiente manera

$$AGFI = 1 - [(k/df)(1 - GFI)]$$

Donde k es el número de valores distintos únicos en la matriz S y df los grados de libertad.

2.6.4.2.2 Índices de comparación de modelos

También conocidos como índice de ajuste incremental, no comparan las matrices de varianza-covarianza (o de correlación) observada y estimada, sino que comparan el ajuste del modelo propuesto con un modelo base especificado a priori. El modelo base suele referirse como modelo “nulo” o modelo de “independencia”. Entre los índices más utilizados está el índice TLI y NFI.

Índice Tucker-Lewis (TLI). Se utiliza para comparar modelos alternativos o comparar un modelo propuesto contra un modelo nulo. El TLI está escalado de 0 (sin ajuste) hasta 1 (ajuste perfecto) y se calcula utilizando χ^2 como sigue.

$$TLI = \left[(\chi^2_{nulo} / df_{nulo}) - (\chi^2_{propuesto} / df_{propuesto}) \right] / \left[(\chi^2_{nulo} / df_{nulo}) - 1 \right]$$

Índice de ajuste normado (Normed Fit Index-NFI). Al igual que TLI, es una medida que escala chi cuadrada de 0 a 1 (Bentler & Bonett, 1980) y es utilizado para comparar un modelo restringido con un modelo completo utilizando como referencia un modelo nulo como sigue

$$NFI = (\chi^2_{nulo} - \chi^2_{modelo}) / \chi^2_{nulo}$$

2.6.4.2.3 Índices de ajuste de parsimonia

La parsimonia se refiere al número de parámetros estimados requeridos para alcanzar un nivel específico de ajuste de modelo. Básicamente un modelo sobre-identificado es comparado con un modelo restringido. Los índices más utilizados son el PNFI y el AIC, aunque el índice AGFI también provee un índice de parsimonia. Para Williams y Holahan (1994), el AIC es el que funciona mejor para modelos con múltiples indicadores como es en nuestro caso. El propósito es equilibrar la bondad de ajuste con la “parsimonia” o simplicidad: incluir los menos parámetros posibles. Un modelo es de elevada parsimonia cuando tiene relativamente pocos parámetros y, en cambio, muchos grados de libertad. Para ello su tamaño muestral ha de ser elevado. Respecto a los valores de PNFI y de AIC indican un mejor ajuste del modelo, dado un número especificado de parámetros en el modelo.

Índice de ajuste normado de Parsimonia (Parsimony Normed Fit Index-PNFI). Este índice toma en cuenta el número de grados de libertad usados para obtener un nivel dado de ajuste. El PNFI es utilizado para comparar modelos con diferentes grados de libertad y es calculado como sigue.

$$PNFI = (df_{propuesto} / df_{nulo})NFI$$

Criterio de Información Akaike (AIC). Es utilizado para comparar modelos con diferentes números de variables latentes, tanto como lo hace el PNFI (Akaike, 1987) y se calcula de dos diferentes maneras: $\chi^2 + 2q$, donde q = número de parámetros libres en el modelo; y como $\chi^2 - 2df$. En el primer caso AIC es positivo mientras que en el segundo caso es negativo, pero para cualquiera de los dos, valores cercanos a cero indican un modelo más parsimonioso. De tal manera, el AIC indica ajuste del modelo y parsimonia del modelo. Adicionalmente, es común que los paquetes de software proporcionan varios AIC para el modelo teórico (propuesto), para el saturado y para el independiente.

$$MODEL AIC = \chi^2 + 2q$$

2.6.4.3 Criterio de ajuste por parámetros

En algunas situaciones, aun cuando el criterio de ajuste de modelo indica una medición aceptable, los estimados de parámetros individuales pueden resultar incoherentes. En este sentido, la interpretación de los estimados de parámetros en cualquier análisis de modelo es esencial (Schumacker & Lomax, 2010). En esta parte de la prueba son considerados los siguientes pasos.

1. Los parámetros libres son significativamente diferente de cero, esto se obtiene al probar los *valores críticos*, los cuales se obtienen al dividir el estimado del parámetro entre su error estándar. Sí el valor crítico excede el valor esperado a un nivel especificado α , entonces el parámetro es significativamente diferente de cero;
2. El signo del parámetro coincide con lo esperado en el modelo teórico estimado;
3. El estimado del parámetro “hace sentido”, esto es que debe estar dentro de los rangos esperados de valores;
4. Probar invarianza al fijar estimados de parámetros a que sean iguales (restricciones) en diferentes grupos;

2.6.5 Modificación del Modelo

Si el ajuste del modelo teórico estimado no es tan fuerte, entonces el siguiente paso es modificarlo y subsecuentemente evaluarlo repitiendo los pasos 2 hasta el 5 (Bollen & Long, 1993). Para modificarlo, existen procedimientos para alterar el modelo original en la búsqueda de un mejor ajuste, a esto se llama *búsqueda de especificación*. Una opción es convertir en parámetros fijos, aquellos que no son significativos, es decir, hacerlos cero. Otra opción implica examinar la falta de especificación a través de la matriz de residuales o la matriz de residuales estandarizados, los cuales representan la diferencia entre la matriz de varianzas-covarianzas observados S y la correspondiente matriz de varianza-covarianza del modelo estimado Σ . Esto se realiza para detectar qué varianza y covarianza no está bien explicada por el modelo. Residuales estandarizados mayores a 1.96, es decir usando $\alpha = 0.05$ o mayores que 2.58 con $\alpha = 0.01$ indicaría que una relación en particular de variables no está bien representada en el modelo.

Una manera de determinar un apropiado tamaño de muestra en modelación de ecuaciones estructurales es por medio de N crítica (CN) de Hoelter (1983) dado por

$$CN = (\chi^2_{critical}/F_{min}) + 1$$

Donde $\chi^2_{critical}$ es obtenido de los grados de libertad del modelo a un nivel de significancia α .

2.6.6 Validación del Modelo

La validación del modelo, es la viabilidad de un marco teórico sugerido por el modelo estructural y de medición (Schumacker & Lomax, 2010). En este sentido existen varias técnicas de validación de modelos en las que se incluyen *la replicación y la validación cruzada*, donde el primero utiliza múltiples muestras que son analizadas para determinar el nivel de replicación, y el segundo implica a partir de una muestra, generar dos submuestras aleatorias que se comparan entre sí.

Múltiples muestras. Los modelos teóricos pueden ser examinados a través de muestras para determinar el grado de invarianza en índices de ajuste, en estimados de parámetros y en los errores estándares. Inclusive se pueden analizar múltiples muestras y estimar separadamente los parámetros para cada muestra independiente, probar si parámetros específicos o si matrices de parámetros son equivalentes entre las muestras (ya sea en el modelo estructural o en el de medición). Además se puede probar las diferencias de promedios muestrales. Browne y Cudeck (1989) desarrollaron el **Índice Esperado de Validación Cruzada**, (*Expected Cross Validation Index* ECVI) para validar un modelo, el cual es dividido en dos subgrupos dado por

$$ECVI = (c/n) + 2(p/n)$$

Sobre esto, Bandalos (1993), y Benson y Bandalos (1992) simularon el índice (ECVI) y encontraron que es muy preciso en casos de modelos confirmatorios. Por otra parte, Benson y El-Zahhar (1994), y Benson et al. (1992) encontraron que el índice (ECVI) presenta resultados similares cuando se usan múltiples muestras.

3 METODOLOGÍA

Para el logro de los objetivos, en la presente disertación se diseñó y desarrolló una metodología de trabajo con las siguientes fases y actividades, mismas que son ampliadas en el presente capítulo.

Fase 1. Determinar los factores críticos de éxito de seis sigma más utilizados por los usuarios en la literatura reciente a nivel mundial.

- 1.1. Localizar y seleccionar estudios que examinan factores críticos de éxito de seis sigma de organizaciones de diferentes partes del mundo.
- 1.2. Desarrollo de procedimientos estadísticos (Meta-análisis) para medir el efecto (razón de uso) de los factores críticos de éxito de seis sigma.

Fase 2. Determinar las técnicas y herramientas de seis sigma más utilizadas por los usuarios en la literatura recientemente a nivel mundial.

- 2.1 Localizar y seleccionar estudios que examinan herramientas y técnicas de seis sigma de organizaciones de diferentes partes del mundo.
- 2.2 Desarrollo de procedimientos estadísticos (Meta-análisis) para medir el efecto (razón de uso) de las herramientas y técnicas de seis sigma.

Fase 3. Caracterización de los factores críticos de éxito de seis sigma

- 3.1 Generar constructos de la literatura de seis sigma

Fase 4. Determinar el estado actual de utilización y la importancia de los factores críticos de éxito de seis sigma en organizaciones de Baja California.

- 4.1 Desarrollo de instrumento para acopiar información sobre factores críticos de éxito.
- 4.2 Evaluar la confiabilidad del instrumento y la escala de medición
- 4.3 Validar el instrumento y la escala de medición
- 4.4 Determinar la población objetivo
- 4.5 Aplicar el instrumento
- 4.6 Los factores críticos de éxito en empresas de Baja California

Fase 5. Explicar la relación existente entre los factores críticos de éxito de seis sigma en empresas de Baja California

- 5.1 Especificación de modelo de ecuaciones estructurales
- 5.2 Identificación de modelo
- 5.3 Estimación de modelo
- 5.4 Modificación de modelo
- 5.5 Validación de modelo

3.1 Determinación de los Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma Más Utilizados por los Usuarios en la Literatura

3.1.1 Literatura sobre Factores Críticos de Éxito

Con el fin de resumir la literatura y presentar el estado actual para los últimos años se realizó una búsqueda y selección de artículos que mencionan seis sigma, logrando reducir de alrededor de 2000 artículos a sólo 117 que mencionan específicamente factores críticos de éxito de seis sigma. La literatura comprende las principales bases de datos y revistas arbitradas en idioma inglés

3.1.2 Comparación de Proporciones entre Periodos

Para determinar la evolución de seis sigma, se usaron dos periodos de tiempo para separar la frecuencia de reportes de factores críticos de éxito en artículos, el periodo 1 (p_1) abarca de 1995 a 2005 y el periodo 2 (p_2) de 2006 a 2010, y los 20 FCE más reportados fueron seleccionados para el estudio, para lo cual se identificó el número de veces que fue reportado por usuarios en ambos periodos mediante la identificación de presencia/ausencia. Además para comparar ambos periodos se determinaron las proporciones de uso para cada FCE, por ejemplo, el factor *involucramiento de la dirección* fue reportado como importante en 32 artículos y fue ausente en otros 31, de 63 artículos revisados en el periodo 1.

De esta manera, para el periodo 1, ese factor tiene una proporción p_1 (presente/n) de reportes de

$$p_1 = 32/63 = 0.508,$$

Es decir, fue reportado en poco más de la mitad; ya en el segundo periodo su proporción p_2 es

$$p_2 = 30/54 = 0.556$$

Es decir, en el periodo 2 en proporción fue más reportado por los usuarios de seis sigma. Adicionalmente se determinó un intervalo de confianza y se desarrolló una prueba de hipótesis de la diferencia entre proporciones de uso del periodo 1 al periodo 2 como sigue:

$$H_0: p_1 - p_2 = 0 \quad vs \quad H_1: p_1 - p_2 \neq 0$$

Donde: H_0 es la hipótesis nula de que la diferencia entre ambas proporciones es cero y H_1 es la hipótesis alternativa de que esta diferencia es diferente de cero, es decir las proporciones no son iguales.

3.1.3 Meta-Análisis de los Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma

Posteriormente, un efecto general estimado es calculado para dos grupos de FCE, los cuales aparecen como los más reportados y los que decrecen su uso respectivamente en el periodo 2. Aquí se utilizan

los índices de probabilidades conocidos como *odds*, los cuales reflejan la relación de uso por los autores, de tal forma que un *odd* para un FCE en un periodo dado es:

$$odd = presencia/ausencia,$$

A su vez, se determina la *Razón odd*, el cual indica la relación entre *odds* de dos periodos de tiempo de determinado FCE, es decir:

$$Razón\ odd = odd_1/odd_2$$

Así, una Razón odd mayor que 1, indica que en relación de presencia/ausencia un FCE fue más utilizada en el periodo 1 que en el 2. Por el contrario, una Razón odd menor que 1 implica un incremento en el uso para el periodo 2. Con esta información se procede a determinar los índices *odds* y *Razón odds* para cada factor crítico de éxito, para continuar con el resto de las operaciones del meta-análisis, y con ello determinar una *Razón odd general* para los dos grupos. Después de esta parte se procede a estimar un intervalo de confianza para cada *Razón Odd general* y se prueba la hipótesis nula de que es igual a 1, es decir:

$$H_0: Razón\ odd\ general = 1\ vs\ H_1: Razón\ odd\ general \neq 1$$

Así, el FCE *involucramiento de la dirección* tiene un odd para el periodo 1 de $odd_1 = 32/31 = 1.03$ y $odd_2 = 30/24 = 1.25$ para el periodo 2, por tanto su Razón Odd es

$$Razón\ Odd = 1.03/1.25 = 0.826$$

Esta Razón Odd de 0.826 significa que se incrementó el número de veces del periodo 1 al periodo 2, dado que en el periodo 2 tuvo más reportes que ausencias, comparado con el periodo 1.

Para proceder con el meta-análisis y para mantener simetría en el análisis, Borenstein et al. (2009) propone el uso de la transformación logarítmica y su varianza en unidades logarítmicas de las Razón Odds obtenidas para ambos grupos de FCE. Posteriormente estas transformaciones se convierten de nuevo a Razón Odds. En el caso del FCE *Involucramiento de la dirección*, estos valores se obtienen de la siguiente manera

$$LogRazón\ Odds = \ln(0.826) = -0.1914$$

$$V_{logRazón\ Odds} = \frac{1}{32} + \frac{1}{31} + \frac{1}{30} + \frac{1}{24} = 0.1385$$

Para hacer frente a la variación entre factores, se condujo un meta-análisis de efectos aleatorios, asumiendo que el efecto verdadero está normalmente distribuido. Además, para obtener un estimado más preciso del promedio general (y minimizar la varianza) se calcula un promedio ponderado, donde

el peso asignado a cada factor, es el inverso de su varianza $V_{Y_i}^*$. Para el FCE de *Involucramiento de la dirección* tenemos que su varianza interna es

$$V_{Y_i}^* = 0.1385 + 0.4128 = 0.5513$$

Por lo tanto, su peso es

$$W_i^* = \frac{1}{0.5513} = 1.8138$$

En el caso del grupo de 16 FCE que incrementan su uso en el periodo 2 su varianza entre factores es

$$T^2 = \frac{32.453 - 16}{42.27} = 0.4128$$

Donde

$$Q = 125.214 - \frac{(-65.50)^2}{46.2539} = 32.453$$

$$df = 16 - 1 = 15$$

$$C = 46.253 - \frac{183.96}{46.253} = 42.27$$

De nueva cuenta, en el caso del grupo de 16 FCE que incrementan su uso en el periodo 2 su efecto general y su respectiva varianza es

$$M^* = \frac{-30.493}{19.48} = -1.565$$

$$V_{M^*} = \frac{1}{19.48} = 0.0513$$

Con error estándar igual a

$$EE_{M^*} = \sqrt{V_{M^*}} = \sqrt{0.0513} = 0.2265$$

Posteriormente se encuentran los intervalos de confianza para el efecto general de este grupo, es decir

$$\text{Limite inferior } M^* = M^* - (1.96 * EE_{M^*}) = -1.565 - (1.96 * 0.2265) = -2.009$$

$$\text{Limite superior } M^* = M^* + (1.96 * EE_{M^*}) = -1.565 + (1.96 * 0.2265) = -1.121$$

Se convierten de nuevo los límites y el efecto general a Razones Odd usando

$$\text{Razón Odd General} = \exp(M^*) = 0.209$$

$$\text{Límite inferior Razón Odd General} = \exp(\text{Limite inferior } M^*) = 0.134$$

$$\text{Límite superior Razón Odd General} = \exp(\text{Limite superior } M^*) = 0.325$$

Finalmente se prueba la hipótesis nula que el efecto general para el grupo de factores de cada periodo es igual a 1 es decir, la *Razón Odd General* es igual a 1:

$$H_0: \text{Razón Odd } M = 1 \quad \text{vs} \quad H_1: \text{Razón Odd } M \neq 1$$

Con el siguiente estadístico de prueba

$$Z^* = \frac{M^*}{EE_{M^*}}$$

3.2 Determinación de las Herramientas y Técnicas de Seis Sigma Más Utilizadas por los Usuarios en la Literatura.

3.2.1 Literatura Sobre Herramientas y Técnicas de Seis Sigma

Con el fin de resumir la literatura y presentar el estado actual para los últimos años, se realizó una búsqueda estructurada para localizar estudios acerca de las herramientas y técnicas de seis sigma, logrando reducir de cerca de 2000 artículos que mencionan seis sigma a sólo 144 mencionando herramientas y técnicas utilizadas en implementaciones exitosas de seis sigma en diferentes organizaciones del mundo. Para determinar la evolución de seis sigma, se utilizaron dos periodos y con esto separar la frecuencia de citas en el uso de las herramientas y técnicas por los usuarios de la metodología; el periodo 1 comprende de 2001-2005 y el periodo 2 de 2006-2010. En este análisis se seleccionaron las 35 HyT más citadas por autores y se determinó la cantidad de veces que fue utilizadas por los usuarios en ambos periodos, esto en la forma de presencia o ausencia.

3.2.2 Comparación de Proporciones entre Periodos

A continuación se determinó la proporción de uso de cada factor en ambos periodos, dividiendo la presencia (cantidad de citas en artículos) entre el total de artículos del periodo. Por ejemplo, en el caso de diseño de experimentos, es reportado en 26 artículos y no aparece en 4 de ellos para el periodo 1, con una proporción de uso $p_1 = 24/30 = 0.867$ y $p_2 = 60/113 = 0.531$ para el segundo periodo. Por lo tanto, en términos absolutos decrece su relación de uso al pasar de 0.867 a 0.531; para evaluar este cambio, se determinan los intervalos de confianza y se desarrolla una prueba de hipótesis de la diferencia entre proporciones de uso del periodo 1 al periodo 2 con un nivel de significancia de 0.05 para cada HyT, decir:

$$H_0: p_1 - p_2 = 0 \quad vs \quad H_1: p_1 - p_2 \neq 0$$

Posteriormente se revisan los resultados y se generan 3 grupos de herramientas y técnicas según su comportamiento, el primero grupo "A" se conforma por las HyT que incrementan la cantidad de citas en el periodo 2, es decir este grupo A parece ser más tomado en cuenta en años recientes por los autores. A su vez, el grupo "B" se integra por HyT que decrecen la cantidad de citas en el periodo 2 en proporción al periodo 1. El resto de HyT es parte de un tercer grupo "C" de herramientas y técnicas que parecen mantener la frecuencia de reportes en ambos periodos.

3.2.3 Meta-Análisis de Herramientas y Técnicas de Seis Sigma

Para determinar la consistencia de los grupos de HyT en cuanto a su incremento o decremento en uso en años recientes, se procede a probar el efecto global utilizando para cada grupo, los índices de probabilidades conocidos como *odds*, los cuales reflejan la relación de uso por los autores, de tal forma que un *odd* para una HyT en un periodo dado es:

$$odd = presencia/ausencia,$$

A su vez, se determina la *Razón odd*, el cual indica la relación entre *odds* de dos periodos de tiempo de determinada HyT, es decir:

$$Razón\ odd = odd_1/odd_2$$

Así, una *Razón odd* mayor que 1, indica que en relación de presencia/ausencia una HyT fue más utilizada en el periodo 1 que en el 2. Por el contrario, una *Razón odd* menor que 1 implica un incremento en el uso para el periodo 2. Con esta información se procede a determinar los índices *odds* y *Razón odds* para cada herramienta y técnica, para continuar con el resto de las operaciones del meta-análisis, y con ello determinar una *Razón odd general* para el grupo A, B y C. Después de esta parte se procede a estimar un intervalo de confianza para cada *Razón Odd general* y se prueba la hipótesis nula de que es igual a 1, es decir:

$$H_0: Razón\ odd\ general = 1 \quad vs \quad H_1: Razón\ odd\ general \neq 1$$

3.3 Generación de Constructo

Respecto a la problemática de aplicar correctamente la metodología Seis Sigma (SS) en empresas de Baja California, es necesario recopilar información pertinente para establecer las variables que disminuyen o aumentan las posibilidades de éxito en su implementación, por lo que es necesario un instrumento para la obtención de datos. Para tal fin, se comienza con la generación de constructos que serán probados con el instrumento. Al respecto, la selección de constructos es un problema recurrente en investigación en general, por tal motivo se seleccionan variables observadas que generen constructos en base a la revisión de la literatura de seis sigma, tal como se describe a continuación.

3.3.1 El Constructo Éxito

El término éxito es utilizado para definir el nivel en el cual los resultados planificados fueron alcanzados. Esta definición es aplicable a diferentes tipos de proyectos y cubre proyectos exitosos para organizaciones con diferentes niveles de desarrollo de seis sigma (Anand et al. 2009). Las historias de éxito de grandes corporativos como Motorola y General Electric ha sido bien documentada, sin embargo, la comunidad académica se pregunta cuánto de este éxito es atribuible a seis sigma y si es así, que aspectos particulares son claves del éxito (Nonthaleerak & Hendry, 2006).

En el tema de **reducción de la variación**, organizaciones financieras de la talla de *American Express* aplicaron seis sigma logrando eliminar algunos procesos, lo que implicó una mejora en el nivel sigma por 0.3 (Kwak & Anbari, 2006). Por su parte Valles et al. (2009) explica en su proyecto que el éxito implicó reducción de variación al pasar de 3.35 sigmas a 3.72, así como haber encontrado y controlado los factores críticos para el proceso. Referente a **reducción de costos y aumento de ganancias**, Lazarus y Stamps (2002) señala los logros de dos organizaciones del área de la salud, donde *Mount Carmel Health System* logró ahorros por el orden de 3.1 millones de dólares, mientras que de 1998 a 2002 la corporación *The Commonwealth* había ahorrado cerca de 2.5 millones de dólares con la implementación de seis sigma. En un sentido similar, el Thibodaux medical center reportaron para 2002 ahorros en el orden de 475,000 dólares en un año (Stock, 2002). Mientras los beneficios principales serían su impacto en el aspecto financiero, hay otros beneficios como incremento en la satisfacción del cliente, incremento del trabajo en equipo y el incremento en la moral de los trabajadores (Chakrabarty & Tan, 2007). Respecto a **satisfacción del cliente**, *Bank of America* reportó un 10.4% de incremento en la satisfacción del cliente después de implementar seis sigma (Roberts, 2004) y (Kwak & Anbari, 2006). En la **mejora de la calidad**, el Bank-Western Hemisphere logró la reducción de retornos internos hasta en un 85% y reducción del procesos de crédito hasta en un 50% (Perry & Barker, 2006), mejorando la calidad y la satisfacción del cliente.

Se puede apreciar que estos indicadores de éxito se pueden dividir en aquellos que se espera que se den directamente como lo es la reducción de variación, mejoramiento de la calidad, reducción de costo y por ende aumento de ganancia, pero también aquellos que se dan de manera indirecta como satisfacción del cliente y la autoestima del personal al completar un proyecto seis sigma. En un sentido similar, Kumar (2007) los menciona como indicadores duros de éxito a la reducción de defectos,

tiempo de entrega, aumento de ganancias, costos de garantía, productividad entre otros y como indicadores blandos la satisfacción del empleado y satisfacción del cliente, entrenamiento o experiencia adquirido, involucramiento en el trabajo, ambiente de trabajo y compromiso organizacional. Como se aprecia, no hay un consenso sobre los indicadores universales de éxito, sin embargo se encontró que la mayoría reporta al menos cinco de ellos, siendo *la reducción de variación, reducción de costo-aumento de ganancias y mejoramiento de la calidad* entre los indicadores duros de éxito más mencionados. Por su parte, *satisfacción del cliente, y autoestima y experiencia adquirida por el personal* son los dos indicadores blandos comúnmente encontrados. En este sentido, para el presente trabajo las dimensiones del constructo relativo a éxito contemplan estos 5 indicadores

3.3.2 Constructo Visión Directiva

Un factor que destaca en la literatura como el más importante, es el **compromiso e involucramiento de la dirección**, y es que se observa una alta dependencia de las iniciativas en una organización, en función de sus dirigentes. El fuerte compromiso de la alta dirección, el soporte y el liderazgo son esenciales para lidiar con cualquier aspecto cultural o diferencia relacionada a la implementación de seis sigma. Si el compromiso y soporte no existe, la organización debería probablemente no considerar la adopción de seis sigma (Kwak & Anbari, 2006). En ese sentido Kumar (2007) presenta un estudio sobre pequeñas y medianas empresas británicas donde muestra una relación asociada a la alta dirección, ya que la percepción de los respondientes es que los directores deberían dirigir los proyectos seis sigma, las decisiones se deberían basar en datos y que los proyectos deberían orientarse hacia las personas, es decir debe ser basado en el equipo e involucrar a los empleados.

Respecto a la **selección de proyectos seis sigma**, Fundin y Cronemyr (2003) en su estudio revelan que la selección de proyecto es el elemento más crítico y fácilmente desatendido durante la implementación de seis sigma. Por este motivo, Plecko et al. (2009) argumenta que la responsabilidad de seleccionar y dar seguimiento a los proyectos SS, debe recaer en la alta dirección, dándole el derecho para decidir iniciar los proyectos, y ayudando a asegurar que la selección del proyecto se basa en la importancia estratégica y no en la conveniencia. Para Carnell (2003), las organizaciones que trabajan con seis sigma desarrollan mecanismos formales para seleccionar sus proyectos, los cuales involucran a la alta dirección para filtrar aquellos proyectos que no tienen implicaciones financieras o estratégicas. Al respecto Ward et al. (2008), reafirma que el escoger el proyecto adecuado es responsabilidad clave del liderazgo de la organización. Cuando el recurso es limitado, se deben de establecer prioridades para la aplicación de proyectos de seis sigma específicamente en la mejora de procesos, algunos criterios para seleccionar proyectos son:

- Proporciona un enlace directo a los objetivos estratégicos de la organización.
- Tiene un impacto directo sobre objetivos clave del negocio.
- Tiene un proceso de mejora de manera apreciable.
- Tiene contribución financiera.
- Tiene beneficios directos a los clientes clave.

Otro punto importante es la habilidad para manejar proyectos SS, pero también puede ser útil para seleccionar los proyectos futuros (Deshmukh y Lakhe, 2009). En este punto resalta el *saber cómo* o *know how* como medida para seleccionar proyectos en función de la experiencia adquirida al administrar proyectos pasados. Respecto a la **educación y entrenamiento** la empresa Samsung considera que éste es el primer paso esencial en la preparación para implementar seis sigma (Szeto & Tsang, 2005), y es que antes de un régimen de entrenamiento, se deben determinar los objetivos estratégicos de mejora para la organización y los proyectos SS que mejor cumplan estos objetivos (Byrne G. , 2003), es decir, nuevamente la alta dirección se involucra en esta decisión. Por ejemplo, el currículo del programa de entrenamiento debe reflejar las necesidades de la organización y debe ser adecuado para que incorpore tanto beneficio económico como administrativo, además el entrenamiento debe cubrir prácticas y habilidades de mediciones y métricos cuantitativos como cualitativos, así como de liderazgo y de administración de proyectos (Kwak & Anbari, 2006).

En términos de variables contextuales, se ha argumentado que la existencia de una visión clara acerca de seis sigma, es la clave para el éxito de estas iniciativas, donde al relacionar estos proyectos de mejora a la estrategia del negocio puede incrementar la efectividad de los proyectos SS (Larson, 2003). En este sentido, para la Sociedad Americana para la Calidad (2004) una buena visión de seis sigma articula tanto la motivación actual como los objetivos futuros para la iniciativa, tomando en cuenta las siguientes funciones:

- Demostrar que la alta dirección entiende completamente porque se está implementando SS.
- Expresa que puede y que debe ser bajo SS.
- Traduce a acciones relevantes para todo el equipo o inspira al equipo a desarrollar sus propias estrategias u objetivos para ayudar a que SS tenga éxito.
- Coincide con la visión y objetivos generales de la organización.

Como se aprecia, la alta dirección debe tener una alta influencia tanto en la selección de proyecto, como en la educación y entrenamiento en seis sigma que se proporcione a los trabajadores, y más aún debe involucrarse y comprometer con el proyecto seis sigma de tal manera que los trabajadores refuercen el compromiso y sentido de pertenencia a la empresa. Por lo anterior, el constructo *Visión directiva* es contemplado como un constructo soportado por tres variables.

3.3.3 Constructo Estrategia de Implementación

Liderazgo en proyectos seis sigma. El estilo de liderazgo participativo y de apoyo provee a la organización con el soporte de la alta dirección necesario para el mejoramiento de la calidad, tales como la participación del personal, desarrollo de mecanismos interfuncionales, habilidades de liderazgo, y cultura de equipo necesarios para la implementación del programa de calidad, creando un clima de comunicación abierta acerca del progreso de la implementación que permitirá el aprendizaje y profundizar el cambio, así como la inversión en la formación para ayudar a los empleados a incrementar sus conocimientos, habilidades y capacidades (Zu et al. 2009). A su vez, la existencia de un clima afectivo positivo caracterizado por el optimismo, el ánimo y el entusiasmo dentro del equipo

tiene un efecto positivo sobre el rendimiento. La existencia de un clima afectivo negativo caracterizados por la tensión, la ansiedad o el nerviosismo tiene efectos perjudiciales sobre el rendimiento del equipo. Por otro lado, un elevado rendimiento grupal ejerce un impacto positivo sobre un clima afectivo de optimismo dentro del equipo, y una influencia negativa sobre un clima afectivo de tensión, reduciéndolo (Gamero, 2008). En este sentido, en la cultura de grupo, los líderes tienden a ser soportes y participativos, fomentan el empoderamiento y la interacción entre el equipo y se preocupan por las ideas de los trabajadores (Deninson & Spreitzer, 1991).

Enfoque en objetivos. Es extremadamente importante para seis sigma enfocarse en obtener resultados y en este sentido se necesitan establecer objetivos basados en hechos y analizados sistemáticamente. Éstos deben ser retos para todo el trabajo de mejora, por lo que es importante que estos objetivos sean explicados y clarificados para toda la organización (Sandholm & Sorqvist, 2002). A su vez Yeung (2007) sugiere que los objetivos claros y consistentes con la organización son esenciales para el buen desempeño de la organización. En un sentido similar Linderman et al. (2003) sugiere que tener objetivos específicos que sean retadores conduce a una mejor magnitud de éxito que si se tuvieran objetivos vagos. Por último, Pyzdek (2004) presenta un enfoque de cómo los objetivos pueden ser usados para impulsar una estrategia de implementación y estar directamente ligados a la acción mediante la aplicación de herramientas como el balanced scorecard, mapeo de proceso y modelos de ecuaciones estructuradas.

Respecto al **seguimiento y control de proyectos**, éste se da con el fin de revisar periódicamente y evaluar su estatus así como el desempeño de las herramientas y técnicas utilizadas, además debe ser bien documentado para rastrear o encontrar restricciones del proyecto, principalmente a costos, al calendario y alcance (Kwak & Anbari, 2006). Además revisiones al proyecto, estudios confirmatorios y auditorías de proceso son maneras efectivas para identificar si los cambios de proceso son efectivos (Snee R. , 2004). Así, el éxito de seis sigma es fuertemente dependiente de los proyectos que son seleccionados y como éstos son priorizados y administrados (Szeto & Tsang, 2005). Al respecto, el rol de los líderes de proyectos debe ser bien identificado, ya que la mayoría de los que fallan, lo hacen debido a una pobre habilidad en la administración de proyecto (Eckes G. , 2001). Por ejemplo, el campeón de seis sigma debe poseer herramientas efectivas de manejo de equipo para controlar el proyecto completo en lugar de micro administración (Gordon, 2002). En este contexto se considera inicialmente el constructo *Estrategia de implementación*, soportado por los tres factores *liderazgo de proyecto, enfoque en objetivos y seguimiento de proyectos*.

3.3.4 Constructo Equipo Colaborativo

El **involucramiento del equipo** o prácticas de alta implicación (*high-involvement work practices* HIWP), representan un sistema de las prácticas que dan a los empleados las habilidades, información y motivación para intervenir en la toma de decisiones y, como resultado de ello, transforman la mano de obra en una fuente de ventaja competitiva sostenible. Algunas categorías que abarca son: formación, comunicación, participación y compensación (Lawler 1998).

Respecto a participación, cuando se implementa un programa de cambio como 6S, es importante involucrar a la gente verticalmente, por ejemplo a los operadores, sus supervisores, gerentes de línea y gerentes de planta. También es importante involucrar a la gente de manera horizontal, por ejemplo al departamento que lidera el proyecto y a los diferentes departamentos que interactúan con él (Gibbons, 2006). A este enfoque Welch y Byrne (2001) le llaman colaboración sin fronteras. A su vez Pande et al. (2000) la definen como rompimiento de barreras para mejorar el trabajo en equipo arriba, abajo y a través de la organización. Una preocupación especial de las empresas que enfatizan la cultura de grupo es el desarrollo del potencial humano, el trabajo en equipo y el compromiso de los miembros como un medio para mejores decisiones y resultados generales (Deninson & Spreitzer, 1991). Y es que un aspecto importante respecto a la mejora de la calidad es que los empleados deben ser propiamente motivados para mejorar su trabajo, esto debido a que la mayoría de la gente está intrínsecamente motivados a hacer un buen trabajo cuando laboran en un ambiente libre de miedo y coerción (Detert, Schroeder, & Muriel, 2000).

Tanto la **comunicación del equipo**, comunicación con la dirección o con el resto de la empresa es fundamental para la consecución de los objetivos. Referente a comunicación de seis sigma, Goldstein (2001), habla de desarrollar un plan para comunicar el programa seis sigma en toda la organización. En el inicio del programa se comunican:

- Qué es Seis Sigma.
- Por qué la organización se está embarcando en este viaje.
- Cuáles son los objetivos de negocio.
- Cuál es el plan de despliegue.
- Cómo cada empleado podrá participar.

Entendimiento de la metodología seis sigma. Con el conocimiento obtenido a través del entrenamiento, es importante que los trabajadores sean capaces de adoptar y desarrollar la metodología seis sigma y dado que las organizaciones varían una de otra, no hay una metodología única, por lo que deben ser capaces de escoger las herramientas y técnicas más apropiadas a ellos (Pande et al. 2000). Algo muy importante es asegurar el entendimiento y consentimiento de todos en la empresa, especialmente de la gente de producción. En realidad ese es un punto clave que determinará el éxito o fracaso (Shingo, 1989). Complementando, Pande et al. (2000) establece que con el tiempo, las compañías necesitan mirar afuera de la disciplina de seis sigma, y buscar otros métodos e ideas que la complementen, pasando así de una organización entrenada a una que aprende constantemente. Al respecto, el término *colaboración* es definido como el grado en el cual los individuos activamente se comunican, cooperan y ayudan uno al otro en su trabajo al compartir conocimiento y experiencia (Lee & Choi, 2003). En este sentido, el constructo *Equipo colaborativo*, es dimensionado por tres variables, *la comunicación del equipo, el involucramiento del equipo* así como *el entendimiento de la metodología de seis sigma*.

3.4 Desarrollo de Instrumento de Recolección de Datos.

Respecto a la problemática de aplicar correctamente la metodología Seis Sigma (SS) en empresas de Baja California, es necesario recopilar información pertinente para establecer las variables que disminuyen o aumentan las posibilidades de éxito en su implementación, por lo que en este apartado se indica la generación, aplicación y validación de un instrumento para la obtención de datos sobre la implementación de seis sigma específicamente en organizaciones de Baja California.

El instrumento tipo cuestionario se basa en la investigación de la literatura previa y en los Factores Críticos de Éxito (FCE) más reportados para incluirse en la modelación del fenómeno, para lo cual se generó un primer instrumento de obtención de datos de forma exploratoria, el cual fue adecuado hasta una segunda versión de instrumento, que a su vez busca por medio de reactivos (ítems) asociados a cada FCE investigar la experiencia de los usuarios de seis sigma, así como determinar la importancia que cada usuario le da a cada FCE en la aplicación exitosa de la metodología.

Al respecto Kumar (2007) desarrolló un estudio sobre factores críticos de éxito de SS en la Gran Bretaña en empresas pequeñas y medianas; él propone el uso de reactivos que midan la importancia de los FCE y en otro sentido el nivel de uso de los FCE por los mismos usuarios. Siguiendo esta recomendación, se desarrolló el instrumento contemplando 2 grandes perspectivas:

1. Medir el uso en la práctica de los FCE
2. Medir la importancia de los FCE

Para este fin se generaron 21 reactivos que miden la importancia de 21 FCE utilizando la escala de Likert donde 1 es “Nada Importante” y 5 es “Muy Importante”. Así como 35 reactivos generales que miden el uso de los FCE donde 1 es “En Nada” y 5 es “En mucho”. Los reactivos referentes a la importancia de los FCE se muestran en la Tabla 8, donde también se indica el respectivo factor crítico de éxito y una abreviación para el indicador. El resto de los reactivos y el cuestionario completo se observan en el anexo 1.

3.4.1 Población Objetivo

Con la intención de obtener información sobre la implementación de seis sigma en Baja California y dado que en este estado existen cerca de 1220 empresas maquiladoras, se definió dentro de la población objetivo a los usuarios de la metodología seis sigma del estado de Baja California, principalmente empresas de manufactura por lo que se procedió a organizar la información disponible de empresas por sector y por ciudad considerando la base de datos de la Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO)⁵ del gobierno de ese estado.

⁵ <http://www.bajacalifornia.gob.mx/sedeco/estadisticas/index.html> (2012)

Tabla 8. Reactivos Sobre la Importancia de los Factores Críticos de Éxito.

Reactivo	Clave	Factor crítico de éxito
¿Qué tan importante es la selección de los proyectos seis sigma?	SeleccProy	Selección de proyecto
¿Qué tan importante es la selección del personal?	EquipoCorrecto	Selección del equipo correcto
¿Qué tan importante es el involucramiento y compromiso de la dirección en proyectos seis sigma?	InvolDirec	Involucramiento y compromiso de la dirección
¿Qué tan importante es contar con una infraestructura organizacional para seis sigma?	InfraOrgan	Infraestructura organizacional
¿Qué tan importante es enfocar al cliente los proyectos seis sigma?	EnfProyClien	Enfoque al cliente
¿Qué tan importante es enfocar los proyectos al balance financiero?	BalanFin	Balance financiero
¿Qué tan importantes es contar con una visión para la implementación de seis sigma?	Visión	Visión sobre seis sigma
¿Qué tan importantes es el seguimiento de los proyectos seis sigma?	Seguimiento	Seguimiento de proyectos
¿Qué tan importante es relacionar seis sigma con el recurso humano?	RecHuman	Relacionar SS con el recurso humano
¿Qué tan importante es enfocar los proyectos seis sigma a los objetivos estratégicos de la organización?	Objetivos	Enfoque a objetivos estratégicos
¿Qué tan importante es relacionar los proyectos seis sigma con los proveedores?	InvProvee	Relacionar SS con proveedores
¿Qué tan importante es la administración y control de proyectos seis sigma en su ejecución?	AdmContrProy	Administración y control de proyectos
¿Qué tan importantes es contar con una estrategia de implementación de seis sigma?	Estrategia	Estrategia de implementación
¿Qué tan importante es contar con un sistema o base de datos de la organización?	BaseDatos	Base de datos
¿Qué tan importante es el liderazgo en la implementación de seis sigma?	Liderazgo	Liderazgo en proyecto
¿Qué tan importante es el cambio cultural hacia seis sigma para su implementación en la organización?	CambCultur	cambio cultural
¿Qué tan importante es la educación y entrenamiento para los miembros de seis sigma?	EduEntren	Educación y entrenamiento
¿Qué tan importante es entender los métodos y herramientas de seis sigma?	EntenMétHerr	Entender la metodología
¿Qué tan importante es contar con un esquema de compensaciones por participar en seis sigma?	Compensa	Compensaciones
¿Qué tan importante es la comunicación entre el equipo seis sigma?	ComunEqui	Comunicación del equipo
¿Qué tan importante es el involucramiento del equipo seis sigma?	InvolEquipo	involucramiento del equipo
¿Al implementar seis sigma, en qué medida se tuvo éxito al obtener los resultados planeados?	Éxito	Éxito de seis sigma
¿Qué resultados se han obtenido al implementar seis sigma?	RedVariación	reducción de la variación
¿Qué resultados se han obtenido al implementar seis sigma?	MejCalidad	mejora de la calidad
¿Qué resultados se han obtenido al implementar seis sigma?	ExpAutoestim	experiencia y autoestima
¿Qué resultados se han obtenido al implementar seis sigma?	RedCostoMasGan	Reducción de costo-aumento de ganancias
¿Qué resultados se han obtenido al implementar seis sigma?	SatisCliente	Satisfacción del cliente

3.4.2 Aplicación de Instrumento

Se desarrolló un instrumento electrónico utilizando la plataforma google para el acopio de datos de los usuarios, con las ventajas que permite llegar a más personas con un mínimo de inversión y tiempo, además que para los usuarios es más fácil contestar en su tiempo disponible. El instrumento se envió a los responsables de contacto de cada empresa según la base de datos de SEDECO, así como a los usuarios que laboran en la industria maquiladora de Baja California y específicamente con seis sigma, según la base de datos de sitio de red de contactos LinkedIn⁶. El instrumento se muestra en el anexo 1.

3.4.3 Confiabilidad del Instrumento y Escala de Medición

Para el desarrollo de modelación con ecuaciones estructurales, donde los datos de entrada servirán para generar el modelo, es esencial que las escalas (constructos) y sus elementos que lo conforman sean tanto confiables como válidos. Al respecto en este apartado se realiza la validación de la escala sobre las preguntas asociadas a los FCE, por lo cual se calcula el índice alfa de Cronbach IAC para los 21 FCE considerados inicialmente, utilizando el software SPSS Statistics 17. Posteriormente se realizan los cálculos para determinar la confiabilidad de diferentes constructos empleados como éxito al implementar seis sigma, visión directiva, estrategia de implementación y equipo colaborativo.

3.4.4 Validez del Instrumento y la Calificación

En cualquier estudio o proyecto que se realice, cuando se terminó de recopilar la información y datos, siempre se debe cuestionar la validez de la información (Hernández et al. 1997); la validez consiste en asegurarnos de que estamos midiendo lo que realmente nos dispusimos a medir, para este fin se realizó un análisis factorial confirmatorio con objeto de depurar definitivamente la escala de medida. Primero se realiza la prueba de esfericidad de Barlett 17 para evaluar si la matriz de intercorrelación de los datos analizados es significativamente diferente a una matriz identidad. Posteriormente se realiza la prueba Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) para determinar el nivel de factorización de las variables. Ambas pruebas se realizan utilizando el software SPSS.

Adicionalmente se determinan las comunalidades, es decir, las sumas de cuadrados de las cargas factoriales de cada variable, así como la varianza total explicada por los componentes principales obtenidos. Finalmente se calcula el porcentaje de explicación de cada factor a través de los componentes principales rotados utilizando varimax del software SPSS 17.

⁶ http://www.linkedin.com/home?trk=hb_home

3.5 MODELACIÓN DE ECUACIONES ESTRUCTURALES

Con la finalidad de explicar las relaciones existentes entre los factores críticos de éxito de seis sigma y los beneficios obtenidos con su implementación, a continuación se aborda el desarrollo de un modelo de ecuaciones estructurales basado en la información recopilada anteriormente. Para lograrlo se desarrollan cinco apartados, donde el primero aborda la especificación del modelo, posteriormente la identificación del modelo dividido en modelo estructural y los modelos de medición de las variables exógenas y endógenas se desarrollan en el segundo apartado, dando lugar al modelo propuesto de ecuaciones estructurales el cual es estimado y modificado en el tercer y cuarto apartado respectivamente. Por último se realiza la validación del modelo, tal como la mayoría de autores proponen.

Modelo teórico inicial. El estudio comienza con un modelo como el mostrado en la Figura 6, sin embargo, en este apartado se pretende explicar las relaciones de una manera específica entre nuestro objeto de estudio, es decir, los factores críticos de éxito de la metodología seis sigma.

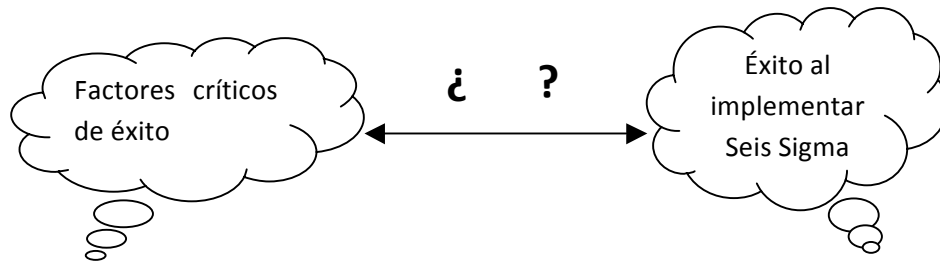


Figura 6. Modelo Inicial de la Investigación.

3.5.1 Especificación de Modelo

En esta etapa se utilizó toda la teoría e información relevante para desarrollar un modelo teórico con variables a considerar así como las relaciones entre éstas.

Constructo Éxito. Conforme a lo previsto en la literatura y confirmado al evaluar la confiabilidad y validez del constructo por medio de análisis factorial, para el presente trabajo las dimensiones del constructo relativo a *éxito* contemplan sólo 4 indicadores como se muestra en la Figura 7.

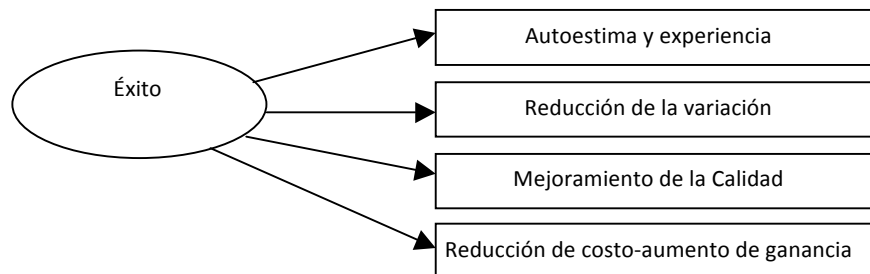


Figura 7. Constructo Éxito al Implementar Seis Sigma.

Constructo Visión directiva. Como se pudo apreciar en el apartado anterior, la alta dirección debe tener una alta influencia tanto en la selección de proyecto, como en la educación y entrenamiento en seis sigma que se proporcione a los trabajadores, y más aún debe de involucrarse y comprometer con el proyecto seis sigma de tal manera que los trabajadores refuerzen el compromiso y sentido de pertenencia a la empresa. Por lo anterior, el constructo *Visión directiva* es contemplado como un constructo soportado por tres variables como se muestra en la Figura 8.

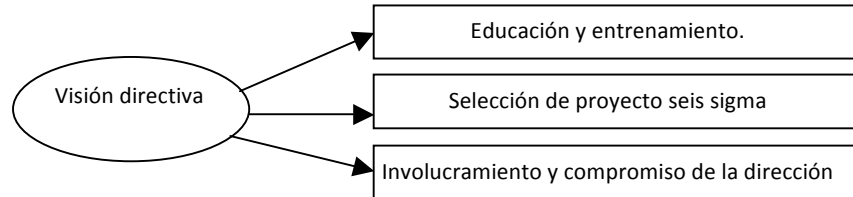


Figura 8. Constructo Visión Directiva.

Constructo Estrategia de implementación. En el contexto de información presentada, la presente disertación considera el constructo *Estrategia de implementación*, el cual es soportado por tres factores como se indica en la Figura 9.

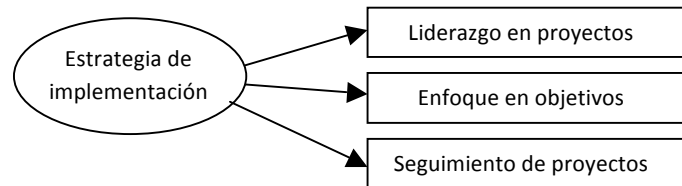


Figura 9. Constructo Estrategia de Implementación

Constructo Equipo colaborativo. El término *colaboración* es definido como el grado en el cual los individuos se comunican activamente, cooperan y ayudan el uno al otro en su trabajo al compartir conocimiento y experiencia (Lee & Choi, 2003). En este sentido, el constructo *Equipo colaborativo*, es dimensionado por tres variables, la comunicación del equipo, el involucramiento del equipo así como el entendimiento de la metodología de seis sigma, tal como se muestra en la Figura 10.

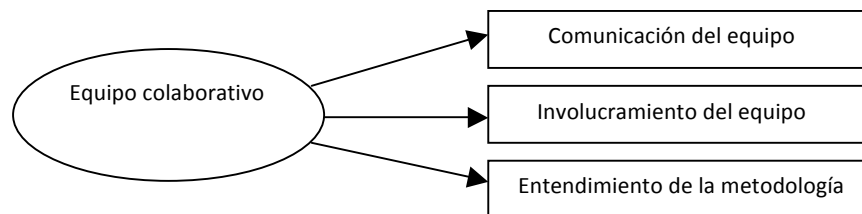


Figura 10. Constructo de Equipo Colaborativo.

3.5.2 Identificación de Modelo

Para la identificación de los parámetros, se comienza por determinar el número de distintos valores en la matriz S , es decir los distintos momentos muestrales, esto es igual a:

$$p(p + 1)/2,$$

Donde p es el número de variables observadas en la matriz muestral de varianzas-covarianzas. Posteriormente se evalúa la *condición de orden*, es decir el número de parámetros libres a ser estimados debe ser menor o igual al número de distintos valores en la matriz S ; a su vez, el número de valores en S debe ser mayor que el número de parámetros libres, siendo esta diferencia los grados de libertad del modelo. Con esto se busca obtener un modelo identificado o sobre-identificado, es decir, que haya más valores en S que parámetros a ser estimados.

3.5.2.1 Generación de Modelo Estructural

El modelo propuesto se muestra en la Figura 11, y compone de la variable latente exógena **Visión directiva** ξ_1 y tres variables latentes endógenas **Estrategia de implementación** η_1 , **Equipo colaborativo** η_2 y **Éxito** η_3 .

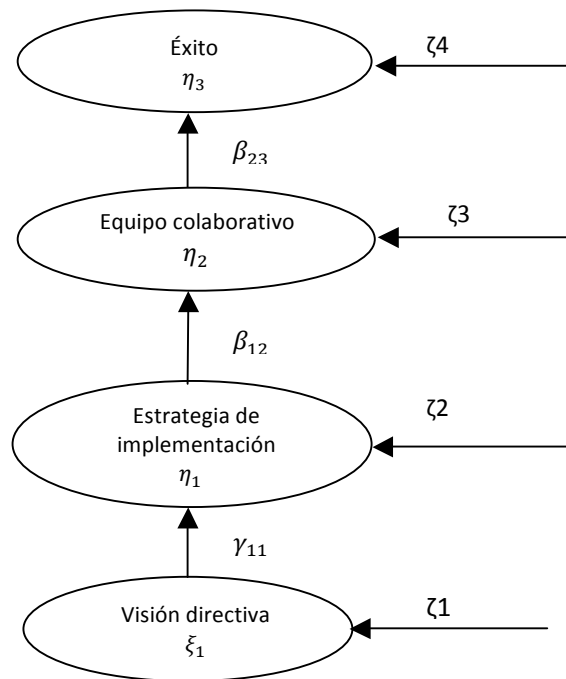


Figura 11. Modelo Estructural del Objeto de Investigación

A su vez, las ecuaciones estructurales lineales representan la línea de causalidad entre las variables latentes endógenas y hay tantas ecuaciones como constructos endógenos sean explicados por variables exógenas (latentes u observadas). Las ecuaciones estructurales son

$$\eta_1 = \gamma_{11}\xi_1 + \zeta_1$$

$$\eta_2 = \beta_{12}\eta_1 + \zeta_2$$

$$\eta_3 = \beta_{23}\eta_2 + \zeta_3$$

3.5.2.2 Generación de Modelo de Medición

El modelo de medición se subdivide en el modelo de medición de la variable latente exógena y el de las variables latentes endógenas. El modelo de medición de la variable latente exógena *Visión directiva* ξ_1 se muestra en la Figura 12, donde se aprecia las tres variables observadas X_1 , X_2 y X_3 , es decir *Involucramiento de la dirección*, *selección del proyecto*, y *educación y entrenamiento* respectivamente, las cuales son explicadas por los factores de carga λ_{11}^X , λ_{21}^X y λ_{31}^X y que relacionan las variables observadas X con la latente ξ_1 , es decir, representan las influencias lineales de las variables latentes en las variables observadas.

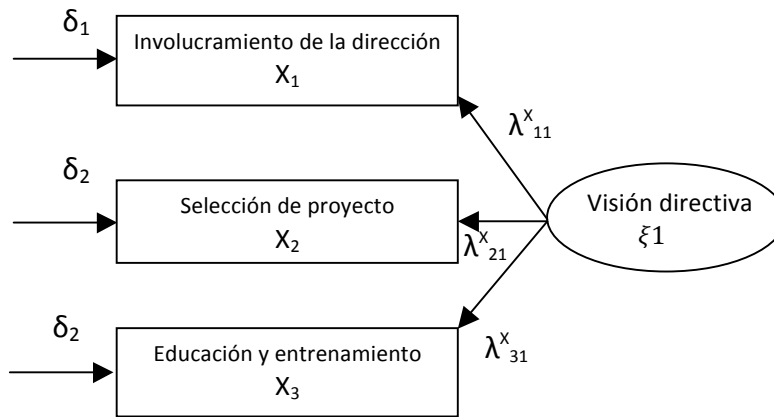


Figura 12. Modelo de Medición de las Variables Latentes Exógenas

Por último los errores de medición δ_1 , δ_2 y δ_2 de cada variable observada, complementan las ecuaciones

$$X_1 = \lambda_{11}^X \xi_1 + \delta_1$$

$$X_2 = \lambda_{21}^X \xi_1 + \delta_2$$

$$X_3 = \lambda_{31}^X \xi_1 + \delta_3$$

Por su parte, el modelo de medición de las variables latentes endógenas *Estrategia de implementación* η_1 , *Equipo colaborativo* η_2 y *Éxito* η_3 se muestra en la Figura 13.

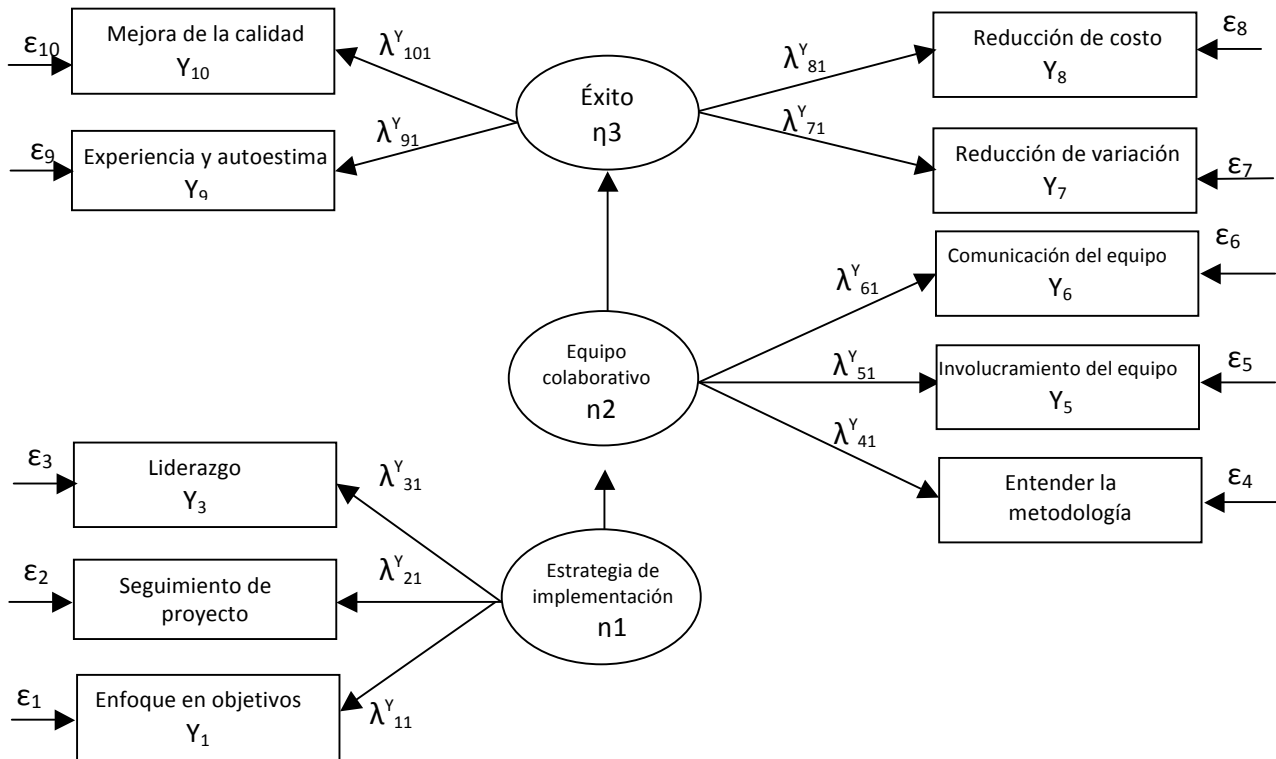


Figura 13. Modelo de Medición de las Variables Latentes Endógenas

Se observa que para la variable latente endógena *Estrategia de implementación* se tienen tres variables observadas Y_1, Y_2 y Y_3 las cuales son explicadas por los coeficientes de regresión $\lambda_{11}^Y, \lambda_{21}^Y$ y λ_{31}^Y . A su vez, las variables observadas presentan respectivamente un error de medición $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ y ε_3 . Las ecuaciones estructurales para esta variable latente son

$$Y_1 = \lambda_{11}^Y \eta_1 + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = \lambda_{21}^Y \eta_1 + \varepsilon_2$$

$$Y_3 = \lambda_{31}^Y \eta_1 + \varepsilon_3$$

Para la variable *Equipo colaborativo*, se tienen las siguientes ecuaciones estructurales

$$Y_4 = \lambda_{41}^Y \eta_2 + \varepsilon_4$$

$$Y_5 = \lambda_{51}^Y \eta_2 + \varepsilon_5$$

$$Y_6 = \lambda_{61}^Y \eta_2 + \varepsilon_6$$

Por último, la variable *Éxito* está relacionada con cuatro variables observadas, con sus respectivos errores de medición y sus coeficientes de regresión, teniendo las ecuaciones

$$Y_7 = \lambda_{71}^Y \eta_3 + \varepsilon_7$$

$$Y_8 = \lambda_{81}^Y \eta_3 + \varepsilon_8$$

$$Y_9 = \lambda_{91}^Y \eta_3 + \varepsilon_9$$

$$Y_{10} = \lambda_{101}^Y \eta_3 + \varepsilon_{10}$$

3.5.2.3 Generación de Modelo de Ecuaciones Estructurales

Teniendo el modelo estructural y el modelo de medición, se genera el modelo de ecuaciones estructurales, el cual indica las relaciones tanto de variables latentes endógenas y exógenas con sus respectivas variables observadas (o indicadores) y sus errores de medición o de predicción. En la Figura 14 se muestra el modelo propuesto.

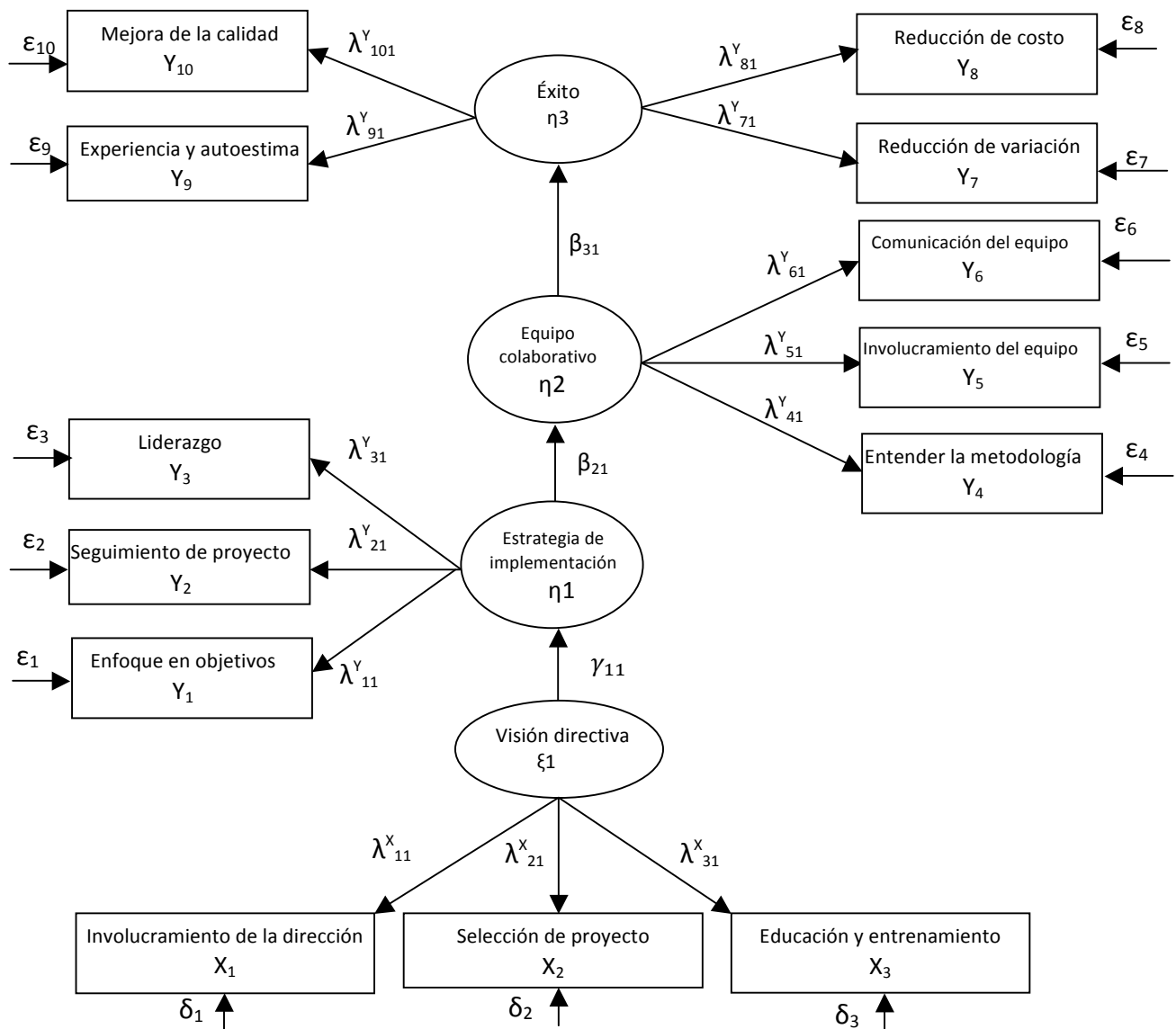


Figura 14. Modelo de Ecuaciones Estructurales Propuesto

3.5.3 Estimación de Modelo

Una vez que el modelo ha sido especificado e identificado, la siguiente tarea es obtener los estimados de los parámetros libres desde los datos observados en el modelo que produce la matriz estimada Σ , de tal manera que sean lo más parecido posible a la matriz muestral de covarianzas S de las variables observadas. Para tal efecto se utiliza máxima verosimilitud (ML) por ser eficiente y no sesgada cuando se cumplen los supuestos de normalidad multivariable, lo que significa que todas las distribuciones univariadas son normales, que la distribución conjunta de cualquier par de variables es bivariada normal y que todos los diagramas de dispersión son lineales y homoscedásticos. Para detectar anormalidad, se analizan los valores estandarizados absolutos de sesgo y curtosis, tal como sugiere Curran et al. (1997) ya que valores absolutos de sesgo mayores que 3.0 parecen ser extremadamente sesgados. A su vez valores absolutos de curtosis mayores que 10 sugieren problemas de normalidad (Kline, 2005).

Para el modelo propuesto se utilizó el método de estimación de Máxima Verosimilitud ya que el supuesto de normalidad se cumple altamente. Para esto se utilizó el software AMOS 17 y SPSS 17 para el procesamiento de los datos de las 130 muestras válidas obtenidas (sin faltante de datos) del cuestionario aplicado a personal que trabaja con la metodología seis sigma en Baja California. Una vez estimados los parámetros del modelo propuesto, se determina que tan bien los datos se ajustan al modelo, es decir, ¿en qué medida el modelo teórico estimado es soportado consistentemente con los datos de la muestra? En este sentido, se utilizan dos aproximaciones de prueba, el criterio de ajuste de modelo, así como el criterio de ajuste por parámetros.

En el criterio de ajuste de modelo, se comienza por calcular el índice de razón de verosimilitud o Chi cuadrada χ^2 (CMIN), considerando la diferencia entre la matriz de varianzas y covarianzas observada y predicha (matriz residual), es decir el ajuste del modelo. Además se obtienen los índices GFI y AGFI, los cuales de estar muy cercanos a 0.90, implicaría un buen ajuste de modelo (Schumacker & Lomax, 2010). Enseguida se procede a obtener los índices de comparación entre modelos Tucker-Lewis (TLI), así como el índice de ajuste normado (NFI), destacando el valor recomendado de 0.90 que representa un buen ajuste de modelo.

En el caso de parsimonia, los índices de ajuste normado de parsimonia (PNFI) y criterio de información Akaike (AIC) se utilizan para comparar modelos entre sí y ver cual presenta mejor parsimonia, en el caso del primer índice sus valores van de 0 a 1, y valores cercanos a uno presentan un buen ajuste, respecto al índice AIC, se busca el modelo que tenga el menor valor.

En el caso del criterio de ajuste por parámetros para el modelo propuesto, se utiliza Máxima Verosimilitud del software AMOS 17 y se realiza una revisión de los estimados de parámetros iniciales, para identificar un modelo defectuoso o mal identificado. Utilizando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ se encuentran los parámetros significativamente diferentes de cero y que además sean positivos. Lo anterior se interpreta en el sentido de que cada vez que una variable exógena se incrementa una unidad, otra variable endógena se incrementara cierta cantidad.

3.5.4 Modificación del Modelo

Si el ajuste del modelo teórico estimado no es tan fuerte, entonces el siguiente paso es modificarlo y subsecuentemente evaluarlo. Para modificarlo se realiza la *búsqueda de especificación* siguiendo dos estrategias, primero convirtiendo en parámetros fijos aquellos que no son significativos y segundo, revisando la matriz de residuales o la matriz de residuales estandarizados para detectar varianzas y covarianzas que no estén bien explicada por el modelo. En este segundo caso, residuales estandarizados mayores a 1.96, es decir usando $\alpha = 0.05$ o mayores que 2.58 con $\alpha = 0.01$ indicaría que una relación en particular de variables no está bien representada en el modelo. A su vez, para la determinación del tamaño apropiado de muestra se utiliza la N crítica (CN) de Hoelter.

3.5.5 Validación del Modelo

Para determinar la viabilidad del marco teórico sugerido por el modelo estructural y de medición, se realiza la validación cruzada del modelo. Para el modelo propuesto, se realiza una división aleatoria de la muestra de 130 encuestas, quedando primeramente dos subgrupos de 65 denominados A y B respectivamente, a los cuales se calcula los índices esperados de validación cruzada ECVI. Por otra parte, Benson y El-Zahhar (1994), y Benson et al. (1992) encontraron que el índice (ECVI) presenta resultados similares cuando se usan múltiples muestras, por lo que el análisis se repite con la generación adicional de dos sub-muestras aleatorias denominadas C y D.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Meta-Análisis de Factores

Con el fin de resumir la literatura y presentar el estado actual para los últimos años se realizó una búsqueda y selección de artículos que mencionan seis sigma, logrando reducir de alrededor de 2000 artículos a sólo 117 que mencionan específicamente factores críticos de éxito de seis sigma. La literatura comprende las principales bases de datos y revistas arbitradas en idioma inglés, con una distribución de países de origen como el que se muestra en la Figura 15, donde se aprecia que Estados Unidos, India y Gran Bretaña son los países con mayor contribución.

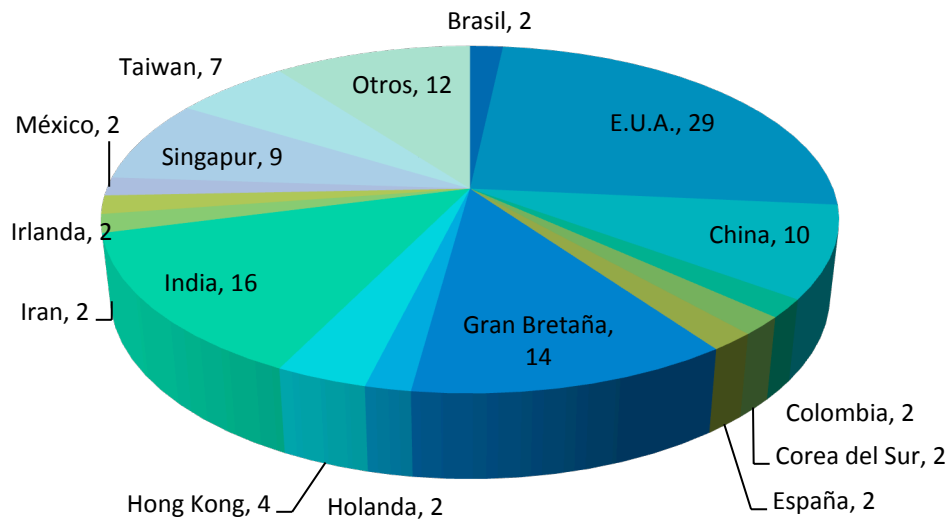


Figura 15. Países de Origen de Literatura Sobre Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma

Para determinar la evolución de seis sigma, se usaron dos periodos de tiempo para separar la frecuencia de reportes de factores críticos de éxito en artículos, el periodo 1 (p_1) abarca de 1995 a 2005 y el periodo 2 (p_2) de 2006 a 2010, y los 20 FCE más reportados fueron seleccionados para el estudio, para lo cual se resumen las cantidades de estudios que los reportan en la Tabla 9 por medio de presente o ausente, indicando que en tal periodo fue citado o no respectivamente.

Tabla 9. Factores Críticos de Éxito por Periodo

Proporción (p) en Periodo 1 (1995-2005)					Proporción (p) en Periodo 2 (2006-2010)				
Factores	Presente	Ausente	n	p	Factores	Presente	Ausente	n	p
Involucramiento de la dirección	32	31	63	0.50	Involucramiento de la dirección	30	24	54	0.55
Entrenamiento y educación	19	44	63	0.30	Selección de proyectos	28	26	54	0.51
Sistema de datos	11	52	63	0.17	Entrenamiento y educación	27	27	54	0.50
Selección de proyectos	8	55	63	0.12	Enfoque al cliente	23	31	54	0.42
Enfoque estructurado	8	55	63	0.12	Cambio de cultura	23	31	54	0.42
Selección de equipo	7	56	63	0.11	Infraestructura organizacional	17	37	54	0.31
Involucramiento del equipo	7	56	63	0.11	Ligar SS a estrategias de negocio	16	38	54	0.29
Enfoque al balance financiero	6	57	63	0.09	Entendimiento de la metodología	16	38	54	0.29
Enfoque al cliente	5	58	63	0.07	Habilidades en admón. de proyec.	16	38	54	0.29
Infraestructura organizacional	4	59	63	0.06	Ligar SS a proveedores	13	41	54	0.24
Habilidad en admón. de proyecto	4	59	63	0.06	Ligar SS a recursos humanos	12	42	54	0.22
Liderazgo en proyectos	3	60	63	0.04	Liderazgo en proyectos	11	43	54	0.20
Ligar SS a estrategias de negocio	3	60	63	0.04	Seguimiento de proyectos	8	46	54	0.14
Cambio de cultura	3	60	63	0.04	Involucramiento del equipo	6	48	54	0.11
Ligar SS a proveedores	3	60	63	0.04	Enfoque en objetivos	4	50	54	0.07
Comunicación del equipo	2	61	63	0.03	Comunicación del equipo	4	50	54	0.07
Entendimiento de la metodología	2	61	63	0.03	Selección de equipo	3	51	54	0.05
Ligar SS a recursos humanos	2	61	63	0.03	Sistema de datos	1	53	54	0.01
Seguimiento de proyectos	2	61	63	0.03	Enfoque al balance financiero	1	53	54	0.01
Enfoque en objetivos	1	62	63	0.01	Enfoque estructurado	1	53	54	0.01

Para comparar ambos periodos, se determinan las proporciones de uso partiendo de los datos de la Tabla 9, por ejemplo, el factor *involucramiento de la dirección* fue reportado como importante en 32 artículos y fue ausente en otros 31, de 63 artículos revisados en el periodo 1. De esta manera, para el periodo 1, ese factor tiene una proporción p_1 (presente/n) de reportes de:

$$p_1 = 32/63 = 0.508,$$

Es decir, fue reportado en poco más de la mitad; ya en el segundo periodo su proporción p_2 es

$$p_2 = 30/54 = 0.556,$$

Se observa que hubo un ligero incremento en el periodo 2 en proporción al periodo 1, por lo tanto hay evidencia de un pequeño incremento de reportes por los usuarios de seis sigma en el periodo 2 en proporción al periodo 2. Adicionalmente se determinó un intervalo de confianza y se desarrolló una prueba de hipótesis de la diferencia entre proporciones de uso del periodo 1 al periodo 2, donde H_0 es

la hipótesis nula de que la diferencia entre ambas proporciones es cero y H_1 es la hipótesis alternativa de que esta diferencia es diferente de cero. Los intervalos de confianza y su valor-p para todos los factores se muestran en la Tabla 10, destacando que *involucramiento de la dirección* tiene un intervalo de confianza para la proporción de (-0.2287, 0.1335) y un valor-p = 0.606 por lo que estadísticamente es igual la proporción de reportes en ambos periodos.

Tabla 10. Intervalos de Confianza de la Diferencias de Proporciones de FCE.

Comparación entre periodos (proporción periodo 1-proporción periodo 2)		
$H_0: p_1 - p_2 = 0$ vs. $H_1: p_1 - p_2 \neq 0$		
Factores	Intervalo de confianza de la diferencia de Proporciones	Valor-p
Selección de proyecto	(-0.5481, -0.2349)	0.000
Enfoque al cliente	(-0.4943, -0.1987)	0.000
Infraestructura Organizacional	(-0.3890, -0.1135)	0.000
Vincular seis sigma a estrategias de negocio	(-0.3813, -0.1160)	0.000
Cambio de cultura	(-0.5202, -0.2363)	0.000
Entendimiento de la metodología	(-0.3938, -0.1352)	0.000
Habilidades en administración de proyectos	(-0.3686, -0.0969)	0.001
Vincular seis sigma a recursos humanos	(-0.3095, -0.0714)	0.002
Vincular seis sigma a proveedores	(-0.3186, -0.0675)	0.003
Liderazgo en proyectos	(-0.2756, -0.0364)	0.011
Entrenamiento y educación	(-0.3734, -0.0234)	0.026
Seguimiento de proyecto	(-0.2205, -0.0122)	0.029
Enfoque en objetivos	(-0.1345, 0.0181)	0.135
Comunicación del equipo	(-0.1245, 0.0398)	0.313
Involucramiento de la dirección	(-0.2287, 0.1335)	0.606
Involucramiento del equipo	(-0.1142, 0.1142)	1.000
Selección del equipo	(-0.0432, 0.1543)	0.270
Enfoque al balance financiero	(-0.0041, 0.1576)	0.063
Enfoque estructurado	(0.0187, 0.1982)	0.018
Sistema de datos	(0.0556, 0.2564)	0.002

Posteriormente, un efecto general estimado es calculado para dos grupos de FCE, los cuales aparecen como los más reportados y los que decrecen su uso respectivamente en el periodo 2. Al respecto se puede observar en la Tabla 9, que 16 factores incrementan su proporción de uso del periodo 1 al 2. Esto es soportado por el intervalo de confianza del 95% mostrado en la Tabla 10, mientras que los FCE *selección del equipo*, *enfoque al balance financiero*, *enfoque estructurado* y *sistema de datos* parecen decrecer su uso del periodo 1 al 2. Aquí los índices de probabilidades, conocidos como *odds* fueron utilizados para reflejar la relación de uso por los autores en los periodos 1 y 2. Así, el FCE *involucramiento de la dirección* tiene un *odd* para el periodo 1 de $odd_1 = 32/31 = 1.03$ y $odd_2 = 30/24 = 1.25$ para el periodo 2, por tanto su Razón *odd* es

$$\text{Razón Odd} = 1.03/1.25 = 0.826$$

Esta Razón Odd de 0.826 significa que se incrementó el número de veces del periodo 1 al periodo 2, dado que en el periodo 2 tuvo más reportes que ausencias, comparado con el periodo 1; el resto de los 16 FCE que aumentan de uso del periodo 1 al 2 aparece en la Tabla 11.

Tabla 11. Razón Odd de los Factores Más Reportados en el Periodo 2.

Factores Críticos de Éxito	Odds 1995-2005	Odds 2006-2010	Razón Odd
Selección de proyecto	0.145	1.077	0.135
Enfoque al cliente	0.086	0.742	0.116
Infraestructura organizacional	0.068	0.459	0.148
Vincular seis sigma a estrategias de negocio	0.050	0.421	0.119
Cambio de cultura	0.050	0.742	0.067
Entendimiento de la metodología	0.033	0.421	0.078
Habilidades en administración de proyectos	0.068	0.421	0.161
Vincular seis sigma a recursos humanos	0.033	0.286	0.115
Vincular seis sigma a proveedores	0.050	0.317	0.158
Liderazgo en proyectos	0.050	0.256	0.195
Educación y entrenamiento	0.432	1.000	0.432
Seguimiento de proyectos	0.033	0.174	0.189
Enfoque en objetivos	0.016	0.080	0.202
Comunicación del equipo	0.033	0.080	0.410
Involucramiento de la dirección	1.032	1.250	0.826
Involucramiento del equipo	0.125	0.125	1.000

A pesar de que los factores *selección del equipo* y *enfoque al balance financiero*, no difieren en proporción del periodo 1 al periodo 2, ellos presentan una frecuencia pequeña de reportes en ambos periodos. En un sentido similar *sistema de datos* y *enfoque estructurado* presentan una frecuencia pequeña de reportes en el periodo 2 y adicionalmente decrece del periodo 1 al periodo 2. Estos cuatro FCE parecen ser menos reportados en general en los últimos años. En la Tabla 12 se observan sus valores de Razón odd.

Tabla 12. Razón Odd para FCE Menos Reportados en el Periodo 2

Factores Críticos de Éxito	Odds 1995-2005	Odds 2006-2010	Razón Odd
Selección del equipo	0.125	0.059	2.125
Enfoque al balance financiero	0.105	0.019	5.579
Enfoque estructurado	0.145	0.019	7.709
Sistema de datos	0.212	0.019	11.212

Los cálculos del meta-análisis para determinar si el grupo de 16 factores incrementan su uso en el periodo 2 se muestran en la Tabla 13. La *Razón Odd General* para estos 16 factores es de 0.2090 con un límite inferior de 0.1340 y superior de 0.3258 de su intervalo de confianza y un valor-p de 0.0000;

es decir se rechaza la hipótesis nula de que la *Razón Odd General* es 1.0, de hecho hay evidencia de que la verdadera *Razón Odd General* es un valor cercano a 0.2090, en otras palabras, este grupo de 16 FCE, son más reportados en años recientes que en años pasados (periodo 1).

Tabla 13. Cálculos de Meta-análisis de 16 Factores Críticos de Éxito que Incrementan su Uso del Periodo 1 al Periodo 2.

Factor	Odd Ratio	Y Log Odd ratio	V_y Vlog Odd	W peso	WY	WY²	W²	W*	W*Y
Educación y entrenamiento	0.431	-0.839	0.1494	6.692	-5.619	4.719	44.782	1.778	-1.493
Selección de proyecto	0.135	-2.002	0.2174	4.600	-9.210	18.439	21.166	1.586	-3.176
Liderazgo	0.195	-1.632	0.4642	2.154	-3.516	5.741	4.641	1.140	-1.861
Enfoque en objetivos	0.201	-1.601	1.2861	0.777	-1.245	1.994	0.604	0.588	-0.942
Enfoque al cliente	0.116	-2.152	0.2930	3.413	-7.347	15.814	11.650	1.416	-3.049
Vincular SS a estrateg. de negocio	0.118	-2.130	0.4388	2.278	-4.855	10.346	5.193	1.174	-2.501
Cambio cultural	0.067	-2.697	0.4257	2.348	-6.335	17.088	5.517	1.192	-3.216
Comunicación del equipo	0.409	-0.892	0.7864	1.271	-1.134	1.011	1.617	0.833	-0.743
Infraestructura organizacional	0.147	-1.913	0.3528	2.834	-5.423	10.378	8.034	1.306	-2.499
Entender la metodología	0.077	-2.552	0.6052	1.652	-4.217	10.767	2.730	0.982	-2.507
Habilidades en admón. de proyec.	0.161	-1.826	0.3558	2.810	-5.133	9.374	7.900	1.301	-2.376
Vincular SS con proveedores	0.157	-1.847	0.4513	2.215	-4.092	7.559	4.909	1.157	-2.137
Vincular SS con recursos humanos	0.114	-2.165	0.6235	1.603	-3.472	7.516	2.572	0.964	-2.089
Involucramiento de la dirección	0.825	-0.191	0.1385	7.219	-1.381	0.264	52.125	1.813	-0.347
Involucramiento del equipo	1.000	0.000	0.3482	2.871	0.000	0.000	8.247	1.314	0.000
Seguimiento y control de proyec.	0.188	-1.668	0.6631	1.508	-2.516	4.198	2.274	0.929	-1.550
	4.34	-26.11	7.59	46.25	-65.50	125.21	183.96	19.48	-30.49

A su vez, los cálculos de los otros 4 FCE que decrecen su uso del periodo 1 al periodo 2, se observan en la Tabla 14. La *Razón Odd General* para este grupo de factores es de 3.8226 con un intervalo de confianza del 95% que va desde 1.8739 en su límite inferior hasta 7.7975 en su límite superior y un valor-p de 0.00023; es decir se rechaza la hipótesis nula de que la *Razón Odd General* es 1.0, de hecho es diferente de 1.0 y hay evidencia de que su verdadera *Razón Odd General* está cerca de 3.8, en otras palabras, estos cuatro FCE son menos reportados en años recientes, es decir en el periodo 2.

Tabla 14. Cálculos de Meta-análisis de 4 FCE que Decrecen su Uso del periodo 1 al Periodo 2.

Factor	Odd Ratio	Y Log ratio	V _y Vlog Odd	W peso	WY	WY ²	W ²	W*	W*Y
Selección de equipo	2.125	0.754	0.514	1.94	1.46	1.106	3.790	4.185	3.154
Sistema de datos	11.21	2.417	1.129	0.88	2.14	5.174	0.785	1.171	2.829
Enfoque al balance financiero	5.579	1.719	1.203	0.83	1.42	2.456	0.691	1.077	1.852
Enfoque estructurado	7.709	2.042	1.162	0.86	1.75	3.590	0.741	1.127	2.302
	26.62	6.932	4.008	4.52	6.79	12.32	6.006	7.560	10.13

En ambos periodos el *involucramiento y compromiso de la dirección* es el factor más mencionado y hay evidencia de que este factor es el más importante a considerar al implementar seis sigma. Esto es consistente con Lee (2002), Hahn (2005), Kwak y Anbari (2006) así como Brady y Allen (2006). Por su parte el factor *selección de proyectos* es frecuentemente la más importante y difícil parte al implementar seis sigma argumenta Pande et al. (2002). Algunos autores están de acuerdo con esto, Tkác y Lyócsa (2009) argumentan que existe una gran cantidad de metodologías científicas válidas que pueden potencialmente ser usados para seleccionar proyectos seis sigma; sin embargo, artículos en publicaciones científicas de *selección y evaluación de proyectos seis sigma* son raros. En este sentido, Yang y Hsieh (2009) propusieron usar los criterios del premio nacional de calidad de Taiwan, para seleccionar un proyecto seis sigma. A su vez, para Kanani (2006) la selección y priorización de proyectos es el más importante FCE; en este estudio, este factor resultó el segundo más reportado por los autores en años recientes.

En referencia a *educación y entrenamiento*, en seis sigma es importante tener conocimiento del proceso que se desea mejorar así como de herramientas estadísticas. Así pues, el proporcionar recursos para entrenamiento, es crítico en el desarrollo de las habilidades de los especialistas en seis sigma (Linderman et al. 2003). De acuerdo con esto, Johnson y Swisher (2003), indican que la *educación continua y el entrenamiento* de los administradores y participantes es muy importante. Este FCE está ligado con involucramiento y compromiso de la dirección; para realmente tomar ventaja de seis sigma, se cree que la dirección debe involucrarse en el entrenamiento y educación.

Respecto a *selección del equipo, sistema de datos, enfoque al balance financiero y enfoque estructurado* parecen decrecer en uso por los usuarios de seis sigma en el segundo periodo, mientras que los 16 restantes parecen incrementar su uso en el mismo periodo. Esto puede denotar que el enfoque de los usuarios está cambiando a través del tiempo. Otros FCE como *integración de seis sigma con la infraestructura financiera, compartir conocimiento, administración de documentos, soporte técnico, programa de incentivos, y ambiente seguro de trabajo*, no fueron mencionados en el análisis ya que no son mencionados en el primer periodo, sin embargo en el segundo periodo son reportados por los autores, es por eso que parece razonable tomarlos en cuenta en futuras aplicaciones.

4.2 Meta-Análisis de Herramientas y Técnicas de Seis Sigma

Sobre la literatura de las herramientas y técnicas de seis sigma, se logró reducir de cerca de 2000 artículos que mencionan seis sigma a sólo 144 mencionando herramientas y técnicas utilizadas en implementaciones exitosas de seis sigma en diferentes organizaciones del mundo. Al respecto, la Figura 16 muestra los países con estudios referentes a HyT, destacando nuevamente Estados Unidos, India y Gran Bretaña como los países con mayor aportación.

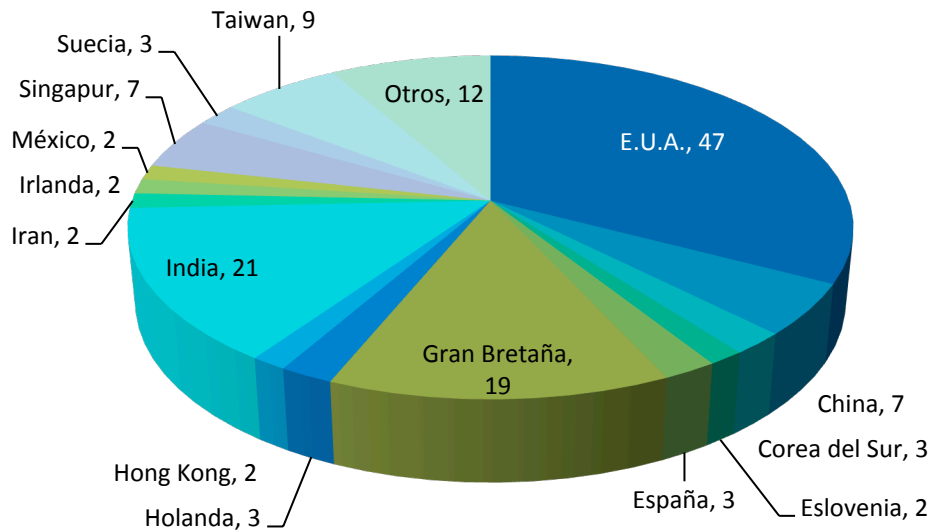


Figura 16. Países de Origen de la Literatura Sobre Herramientas y Técnicas de Seis Sigma

Para determinar la evolución de seis sigma, se utilizaron dos periodos y con esto separar la frecuencia de citas en el uso de las herramientas y técnicas por los usuarios de la metodología; el periodo 1 comprende de 2001-2005 y el periodo 2 de 2006-2010. En este análisis, las 35 HyT más citadas por autores fueron seleccionadas y se determinó la cantidad de veces que fue utilizadas por los usuarios en ambos periodos, mostrando los resultados en la Tabla 15, donde se indica la presencia y ausencia en cada periodo en los artículos encontrados.

Tabla 15. Herramientas y Técnicas en Periodos

Herramienta y Técnica	Periodo 1 (2001-2005)				Periodo 2 (2006-2010)			
	Presencia	Ausencia	n	p	Presencia	Ausencia	n	p
Diseño de experimentos	26	4	30	0.867	60	53	113	0.531
Diagrama causa y efecto	12	18	30	0.400	70	43	113	0.619
AMEF	16	14	30	0.533	60	53	113	0.531
Control estadístico de procesos	16	14	30	0.533	58	55	113	0.513
Capacidad de proceso	18	12	30	0.600	55	58	113	0.487
Diagrama Pareto	13	17	30	0.433	59	54	113	0.522
Mapa de proceso	13	17	30	0.433	56	57	113	0.496
Prueba de hipótesis	10	20	30	0.333	45	68	113	0.398
Brainstorming	5	25	30	0.167	43	70	113	0.381
Anova	12	18	30	0.400	35	78	113	0.310
Análisis de Regresión	12	18	30	0.400	35	78	113	0.310
Diagrama de flujo	9	21	30	0.300	36	77	113	0.319
Despliegue de la función de calidad QFD	12	18	30	0.400	33	80	113	0.292
Diagrama SIPOC	4	26	30	0.133	40	73	113	0.354
Repetibilidad y reproducibilidad RyR	8	22	30	0.267	32	81	113	0.283
Estudios multi-variados	12	18	30	0.400	25	88	113	0.221
Histograma	6	24	30	0.200	30	83	113	0.265
Análisis al sistema de medición	11	19	30	0.367	25	88	113	0.221
Plan de control	12	18	30	0.400	18	95	113	0.159
Benchmarking	5	25	30	0.167	22	91	113	0.195
Diagrama de dispersión	4	26	30	0.133	19	94	113	0.168
Métodos Taguchi	5	25	30	0.167	18	95	113	0.159
Análisis de causa raíz	0	30	30	0.000	23	90	113	0.204
Gráfica de corridas	6	24	30	0.200	17	96	113	0.150
Matriz causa y efecto	6	24	30	0.200	17	96	113	0.150
Lista de verificación	6	24	30	0.200	14	99	113	0.124
Plan de proyecto	2	28	30	0.067	14	99	113	0.124
Análisis Kano	2	28	30	0.067	11	102	113	0.097
Poka yoke	4	26	30	0.133	9	104	113	0.080
Diagrama de efectos principales	0	30	30	0.000	12	101	113	0.106
Mapa de cadena de valor VSM	1	29	30	0.033	10	103	113	0.088
Superficie de respuesta	3	27	30	0.100	8	105	113	0.071
Diagrama de afinidad	3	27	30	0.100	8	105	113	0.071
Matriz de priorización	2	28	30	0.067	9	104	113	0.080
Diagrama de árbol	2	28	30	0.067	8	105	113	0.071

Se observa que en el caso de diseño de experimentos, este es reportado en 26 artículos y no aparece en 4 de ellos para el periodo 1, con una proporción de uso de $p_1 = 24/30 = 0.867$ y $p_2 = 60/113 = 0.531$ para el segundo. En términos absolutos decrece su relación de uso al pasar de 0.867 a 0.531, para evaluar el cambio, se determinó los intervalos de confianza y se desarrolló una prueba de hipótesis de la diferencia entre proporciones del periodo 1 al periodo 2, para cada HyT como sigue:

$$H_0: p_1 - p_2 = 0 \quad vs \quad H_1: p_1 - p_2 \neq 0$$

Los resultados de los intervalos de confianza y los valores-p para cada factor se muestran en la Tabla 16, donde se aprecia que las proporciones de *diagrama causa y efecto*, *brainstorming*, *diagrama*

SIPOC, análisis de causa raíz y gráfica de efectos principales indican que han incrementado su proporción de citas en relación al periodo 1. Esto es soportado por el 95% de confianza de su intervalo.

Tabla 16. Intervalos de Confianza para la Diferencia de Proporciones entre Periodos de HyT.

Herramienta y Técnica	$H_0: p_1 - p_2 = 0$ vs. $H_1: p_1 - p_2 \neq 0$	
	Intervalo de confianza de la diferencia de proporciones	Valor-P
Diseño de experimentos	(0.1831, 0.4882)	0.000
Diagrama causa y efecto	(-0.4163, -0.0226)	0.029
AMEF	(-0.1984, 0.2031)	0.982
Control estadístico de proceso	(-0.1808, 0.2209)	0.845
Capacidad de proceso	(-0.0847, 0.3113)	0.262
Diagrama Pareto	(-0.2886, 0.1110)	0.384
Mapa de proceso	(-0.2620, 0.1376)	0.542
Prueba de hipótesis	(-0.2562, 0.1264)	0.506
Brainstorming	(-0.3744, -0.0532)	0.009
Anova	(-0.1046, 0.2852)	0.364
Análisis de Regresión	(-0.1046, 0.2852)	0.364
Diagrama de flujo	(-0.2037, 0.1665)	0.844
Despliegue de la función de calidad QFD	(-0.0863, 0.3022)	0.276
Diagrama SIPOC	(-0.3708, -0.0704)	0.004
Repetibilidad y reproducibilidad RyR	(-0.1952, 0.1622)	0.856
Estudios multi-variados	(-0.0125, 0.3700)	0.067
Histograma	(-0.2301, 0.0991)	0.436
Análisis al sistema de medición	(-0.0432, 0.3340)	0.131
Plan de control	(0.0528, 0.4285)	0.012
Benchmarking	(-0.1800, 0.1240)	0.718
Diagrama de dispersión	(-0.1746, 0.1050)	0.626
Métodos Taguchi	(-0.1420, 0.1568)	0.923
Análisis de causa raíz	(-0.2777, -0.1293)	0.000
Gráfica de corridas	(-0.1080, 0.2071)	0.538
Matriz causa y efecto	(-0.1080, 0.2071)	0.538
Lista de verificación	(-0.0793, 0.2315)	0.337
Plan de proyecto	(-0.1651, 0.0507)	0.299
Análisis Kano	(-0.1353, 0.0739)	0.566
Poka yoke	(-0.0777, 0.1851)	0.424
Diagrama de efectos principales	(-0.1629, -0.0493)	0.000
Mapa de cadena de valor VSM	(-0.1380, 0.0277)	0.192
Superficie de respuesta	(-0.0881, 0.1465)	0.626
Diagrama de afinidad	(-0.0881, 0.1465)	0.626
Matriz de priorización	(-0.1152, 0.0892)	0.804
Diagrama de árbol	(-0.1051, 0.0968)	0.936

Por otra parte, *diseño de experimentos*, y *plan de control* parecen decrecer del periodo 1 al periodo 2, sin embargo al revisar en la Tabla 17, la cantidad de citas que tienen ambos en el segundo periodo, se aprecia que *diseño de experimentos*, a pesar de que disminuye su uso en proporción, sigue siendo uno de los más utilizados al aparecer en segundo lugar, no así *plan de control* que se ubica en el lugar 23. El resto de las HyT son consistentes con la hipótesis nula ($H_0: P_1 - P_2 = 0$). Esto es que la proporción de reportes en el periodo 1 no difiere del periodo 2.

Tabla 17. Número de Citas de las HyT en la Literatura en el Periodo 2.

Herramienta y Técnica	Periodo 2 (2006-2010)			
	Presencia	Ausencia	n	p
Diagrama causa y efecto	70	43	113	0.619
Diseño de experimentos	60	53	113	0.531
AMEF	60	53	113	0.531
Diagrama Pareto	59	54	113	0.522
Control estadístico de proceso	58	55	113	0.513
Mapa de proceso	56	57	113	0.496
Capacidad de proceso	55	58	113	0.487
Prueba de hipótesis	45	68	113	0.398
Brainstorming	43	70	113	0.381
Diagrama SIPOC	40	73	113	0.354
Diagrama de flujo	36	77	113	0.319
Anova	35	78	113	0.31
Análisis de Regresión	35	78	113	0.31
Despliegue de la función de calidad	33	80	113	0.292
Repetibilidad y reproducibilidad RyR	32	81	113	0.283
Histograma	30	83	113	0.265
Estudios multi-variados	25	88	113	0.221
Análisis al sistema de medición	25	88	113	0.221
Análisis de causa raíz	23	90	113	0.204
Benchmarking	22	91	113	0.195
Diagrama de dispersión	19	94	113	0.168
Plan de control	18	95	113	0.159
Métodos Taguchi	18	95	113	0.159
Gráfica de corridas	17	96	113	0.15
Matriz causa y efecto	17	96	113	0.15
Lista de verificación	14	99	113	0.124
Plan de proyecto	14	99	113	0.124
Diagrama de efectos principales	12	101	113	0.106
Análisis Kano	11	102	113	0.097
Mapa de cadena de valor VSM	10	103	113	0.088
Poka yoke	9	104	113	0.08
Matriz de priorización	9	104	113	0.08
Superficie de respuesta	8	105	113	0.071
Diagrama de afinidad	8	105	113	0.071
Diagrama de árbol	8	105	113	0.071

Al determinar los cambios entre periodos, se procedió a estimar el efecto general de los grupos de HyT que en el segundo periodo aumentan o disminuyen respectivamente en cuanto a la cantidad de citas. Los resultados de los índices de probabilidades conocidos como odds, los cuales reflejan la relación de uso por los autores en los periodos, se aprecia en la Tabla 18.

Tabla 18. Odds de las HyT por Periodos

Herramienta y Técnica	Periodo 1 (2001-2005)			Periodo 2 (2006-2010)			Razón Odds
	Presencia	Ausencia	Odd	Presencia	Ausencia	Odd	
Diseño de experimentos	26	4	6.50	60	53	1.132	5.742
Diagrama causa y efecto	12	18	0.67	70	43	1.628	0.410
AMEF	16	14	1.14	60	53	1.132	1.010
Control estadístico de procesos	16	14	1.14	58	55	1.055	1.084
Capacidad de proceso	18	12	1.50	55	58	0.948	1.582
Diagrama Pareto	13	17	0.76	59	54	1.093	0.700
Mapa de proceso	13	17	0.76	56	57	0.982	0.778
Prueba de hipótesis	10	20	0.50	45	68	0.662	0.756
Brainstorming	5	25	0.20	43	70	0.614	0.326
Anova	12	18	0.67	35	78	0.449	1.486
Análisis de Regresión	12	18	0.67	35	78	0.449	1.486
Diagrama de flujo	9	21	0.43	36	77	0.468	0.917
Despliegue de la función de calidad QFD	12	18	0.67	33	80	0.413	1.616
Diagrama SIPOC	4	26	0.15	40	73	0.548	0.281
Repetibilidad y reproducibilidad RyR	8	22	0.36	32	81	0.395	0.920
Estudios multi-variados	12	18	0.67	25	88	0.284	2.347
Histograma	6	24	0.25	30	83	0.361	0.692
Análisis al sistema de medición	11	19	0.58	25	88	0.284	2.038
Plan de control	12	18	0.67	18	95	0.189	3.519
Benchmarking	5	25	0.20	22	91	0.242	0.827
Diagrama de dispersión	4	26	0.15	19	94	0.202	0.761
Métodos Taguchi	5	25	0.20	18	95	0.189	1.056
Análisis de causa raíz	0	30	0.00	23	90	0.256	0.000
Gráfica de corridas	6	24	0.25	17	96	0.177	1.412
Matriz causa y efecto	6	24	0.25	17	96	0.177	1.412
Lista de verificación	6	24	0.25	14	99	0.141	1.768
Plan de proyecto	2	28	0.07	14	99	0.141	0.505
Análisis Kano	2	28	0.07	11	102	0.108	0.662
Poka yoke	4	26	0.15	9	104	0.087	1.778
Diagrama de efectos principales	0	30	0.00	12	101	0.119	0.000
Mapa de cadena de valor VSM	1	29	0.03	10	103	0.097	0.355
Superficie de respuesta	3	27	0.11	8	105	0.076	1.458
Diagrama de afinidad	3	27	0.11	8	105	0.076	1.458
Matriz de priorización	2	28	0.07	9	104	0.087	0.825
Diagrama de árbol	2	28	0.07	8	105	0.076	0.938

Así, en términos de odds, un grupo “A” de herramientas y técnicas formado por: *diagrama causa y efecto, diagrama Pareto, mapa de proceso, prueba de hipótesis, brainstorming, diagrama sipoc, histograma, diagrama de dispersión, análisis de causa raíz, plan de proyecto, análisis Kano, diagrama de efectos principales y el mapa de cadena de valor*, parecen incrementar la cantidad de citas en el periodo 2, es decir este grupo A parece ser más tomado en cuenta en años recientes por los autores. En la Tabla 19 se muestran los resultados de los cálculos obtenidos del meta-análisis para el grupo A.

Tabla 19. Cálculos de Meta-análisis de Herramientas y Técnicas Grupo A

<i>Herramientas y técnicas</i>	<i>Razón Odds</i>	<i>Y Log Razón Odd</i>	<i>Vy Varianza logOdd</i>	<i>W Peso</i>	<i>WY</i>	<i>WY2</i>	<i>W2</i>	<i>W*</i>	<i>W*Y</i>
Diagrama causa y efecto	0.410	-0.893	0.176	5.668	-5.060	4.517	32.126	18.855	-16.83
Diagrama Pareto	0.700	-0.357	0.171	5.841	-2.084	0.744	34.113	20.911	-7.462
Mapa de proceso	0.778	-0.251	0.171	5.843	-1.464	0.367	34.140	20.941	-5.247
Pruebas de hipótesis	0.756	-0.280	0.187	5.350	-1.500	0.420	28.619	15.739	-4.412
Tormenta de ideas	0.326	-1.122	0.278	3.603	-4.043	4.537	12.982	6.487	-7.280
Diagrama Sipoc	0.281	-1.270	0.327	3.057	-3.883	4.932	9.343	4.908	-6.234
Histograma	0.692	-0.369	0.254	3.941	-1.453	0.536	15.535	7.673	-2.829
Diagrama de dispersión	0.761	-0.273	0.352	2.843	-0.776	0.212	8.083	4.379	-1.195
Análisis de la causa raíz	0.135	-2.003	1.089	0.918	-1.839	3.684	0.843	1.036	-2.074
Plan de proyecto	0.505	-0.683	0.617	1.620	-1.107	0.756	2.625	2.025	-1.383
Análisis Kano	0.662	-0.412	0.636	1.571	-0.647	0.267	2.469	1.949	-0.803
Gráfica de efectos principales	0.290	-1.237	1.128	0.887	-1.097	1.357	0.786	0.996	-1.232
Mapa de cadena de valor	0.355	-1.035	1.144	0.874	-0.905	0.937	0.764	0.980	-1.014
	6.650	-10.18	6.531	42.01	-25.85	23.26	182.42	106.87	-57.99

La *Razón Odd General* para el grupo A es 0.5812, con un intervalo de confianza (0.4808, 0.7025), es decir, esta *Razón Odd General* es diferente de 1, por lo tanto hay evidencia de que la verdadera *Razón Odd General* del grupo A está cerca de 0.58 con un valor p de 0.000; en otras palabras, las herramientas y técnicas que aumentan en cantidad de citas en la literatura en años recientes son: *diagrama causa y efecto, diagrama Pareto, mapa de proceso, prueba de hipótesis, brainstorming, diagrama sipoc, histograma, diagrama de dispersión, análisis de causa raíz, plan de proyecto, análisis Kano, diagrama de efectos principales y el mapa de valor de proceso.*

Este grupo A, sin embargo, sólo indica las HyT que incrementaron la cantidad de citas, sin que esto signifique que son los más citados. Al respecto, se observa en la Tabla 17, el *diagrama causa y efecto* como el número uno en cuanto a citas, le sigue *diseño de experimentos, AMEF, diagrama Pareto, control estadístico de proceso, mapa de proceso, capacidad de procesos, prueba de hipótesis, Brainstorming, y diagrama SIPOC.*

Respecto a *diseño de experimentos*, este factor fue el más reportado en los últimos 10 años, sin embargo su relación de uso por medio del odd decrece del periodo 1 con 6.50 al periodo 2 con 1.13, por lo tanto su razón odd sería

$$\text{Razón Odd}_{\text{Diseño de experimento}} = 6.5/1.13 = 5.75$$

Es decir, su relación presencia/ausencia es mayor en el primer periodo 5.75 veces con respecto al segundo. En una situación similar están las HyT englobadas en el grupo "B" (*capacidad de proceso,*

Anova, regresión, QFD, estudios multivariados, MSA, plan de control, gráfica de corrida, matriz causa y efecto, lista de verificación, poka yoke, metodología de superficie de respuesta y el diagrama de afinidad), ya que presentan un odd menor en el segundo periodo y consecuentemente una Razón Odd mayor que el primero. Los resultados de los cálculos del meta-análisis del grupo B se observan en la Tabla 20.

Tabla 20. Cálculos de Meta-análisis de Herramientas y Técnicas Grupo B

<i>Herramientas y técnicas</i>	<i>Razón Odds</i>	<i>Y Log Razón Odd</i>	<i>Vy Varianza log Odd</i>	<i>W Weight</i>	<i>WY</i>	<i>WY2</i>	<i>W2</i>	<i>W*</i>	<i>W*Y</i>
Diseño de experimentos	5.742	1.748	0.324	3.086	5.394	9.428	9.526	4.408	7.704
Capacidad de proceso	1.582	0.459	0.174	5.737	2.631	1.206	32.911	12.959	5.943
Anova	1.486	0.396	0.180	5.547	2.196	0.869	30.768	12.029	4.762
Análisis de regresión	1.486	0.396	0.180	5.547	2.196	0.869	30.768	12.029	4.762
QFD	1.616	0.480	0.182	5.504	2.642	1.268	30.292	11.828	5.678
Estudios multi vari	2.347	0.853	0.190	5.256	4.483	3.824	27.627	10.741	9.162
Análisis al sistema de medición	2.038	0.712	0.195	5.131	3.653	2.600	26.324	10.229	7.283
Plan de control	3.519	1.258	0.205	4.879	6.138	7.721	23.802	9.274	11.668
Gráfica de corridas	1.412	0.345	0.278	3.603	1.242	0.428	12.979	5.542	1.911
Matriz causa y efecto	1.412	0.345	0.278	3.603	1.242	0.428	12.979	5.542	1.911
Lista de verificación	1.768	0.570	0.290	3.450	1.966	1.120	11.902	5.189	2.957
Poka yoke	1.778	0.575	0.409	2.444	1.406	0.809	5.972	3.205	1.844
Mét. de superficie de respuesta	1.458	0.377	0.505	1.981	0.747	0.282	3.923	2.453	0.925
Diagrama de afinidad	1.458	0.377	0.505	1.981	0.747	0.282	3.923	2.453	0.925
	29.100	8.891	3.895	57.74	36.68	31.13	263.69	107.88	67.435

Los resultados del meta-análisis indican una *Razón Odd General* para el grupo B de 1.8684, con un intervalo de confianza (1.5470, 2.2564), es decir, esta *Razón Odd General* es diferente de 1, de hecho es mayor que 1, por lo tanto hay evidencia de que la verdadera Razón Odd está cerca de 1.8684 con un valor p de 0.000; es decir, las herramientas y técnicas que decrecen en cuanto a cantidad de citas en la literatura en años recientes son: *diseño de experimentos, capacidad de proceso, Anova, regresión, QFD, estudios multivariados, MSA, plan de control, gráfica de corrida, matriz causa y efecto, lista de verificación, poka yoke, metodología de superficie de respuesta y el diagrama de afinidad*. El resto de HyT es parte de un tercer grupo "C" de herramientas y técnicas mantienen la frecuencia de reportes en ambos periodos.

Al respecto, conocer las herramientas y técnicas reportadas en la literatura y sugeridas por usuarios y académicos contribuye a los futuros usuarios a apoyar de mejor manera a sus empresas. En esta disertación se analiza el uso de 35 HyT en la implementación de seis sigma, y se encontró que 13 de ellas (grupo A) parecen incrementar la cantidad de citas por los autores en el periodo 2006-2010. Sin embargo las HyT que aparecen como las más citadas en los últimos años son *diagrama causa y efecto* como el número uno en cuanto a citas, le sigue *diseño de experimentos*, *AMEF*, *diagrama Pareto*, *control estadístico de proceso*, *mapa de proceso*, *capacidad de procesos*, *prueba de hipótesis*, *Brainstorming*, y *diagrama SIPOC*. Así pues, se debe poner atención a ellas. Respecto a las siete herramientas administrativas de la calidad no fueron frecuentemente reportadas, mientras que las siete herramientas básicas de la calidad siguen ayudando a las empresas al tener una mayor cantidad de reportes en la literatura. Sin embargo, es importante manifestar que no todas las HyT aplican en la misma manera para todo tipo de organizaciones, para algunas de ellas, una cierta HyT puede resultar mejor, y en otros casos no. Es imperativo señalar que, el uso de las correctas herramientas y técnicas más la consideración de los factores críticos de éxito de seis sigma, pueden incrementar las oportunidades de obtener beneficios.

4.3 Resultados del Instrumento de Obtención de Datos

4.3.1 Población Objetivo

Las empresas de manufactura en Baja California, se encuentran agrupadas por sector y por ciudad, donde se aprecia las vocaciones de los municipios, destacando que Rosarito sólo tiene 6 empresas reportadas. Los otros 4 municipios se comportan gráficamente como sigue en las figuras 17 a 20.

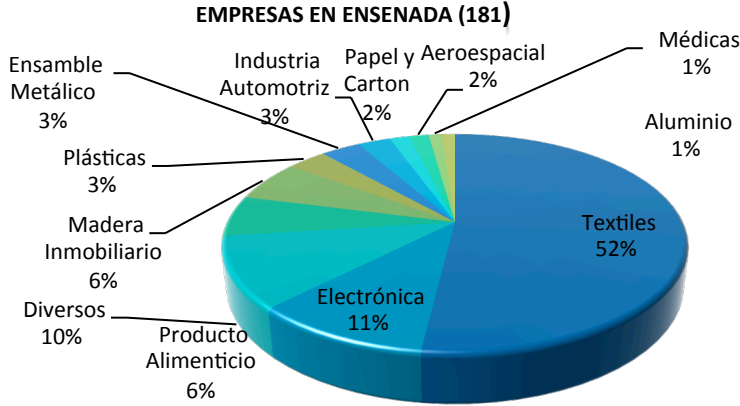


Figura 17. Empresas de Manufactura en Ensenada (Elaboración Propia con Información de SEDECO 2012)

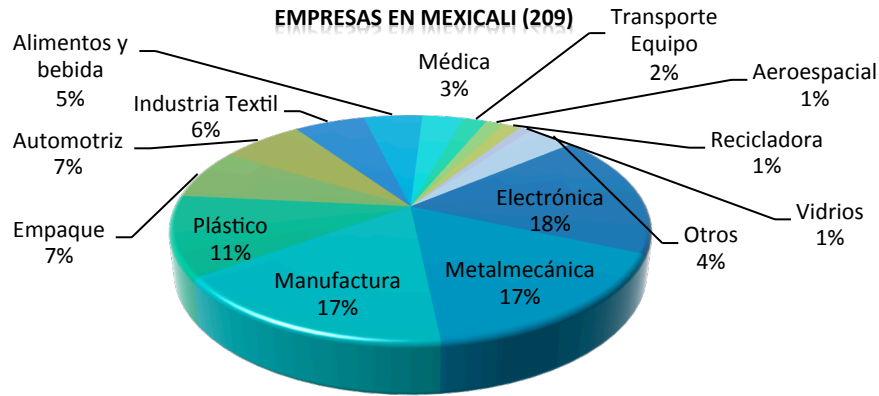


Figura 18. Empresas de manufactura en Mexicali (Elaboración Propia con información de SEDECO 2012)

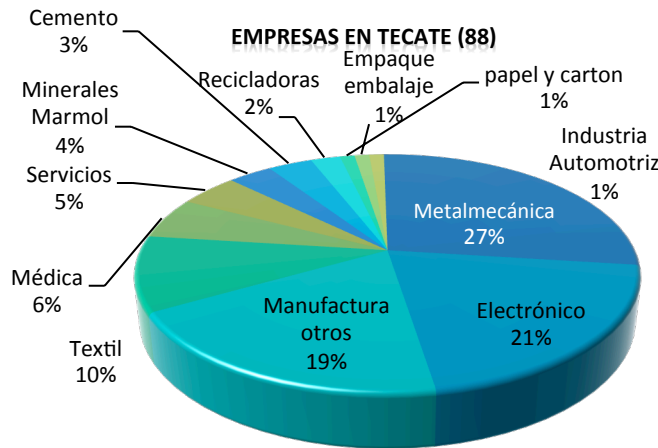


Figura 19. Empresas de Manufactura en Tecate (Elaboración Propia con información de SEDECO 2012)

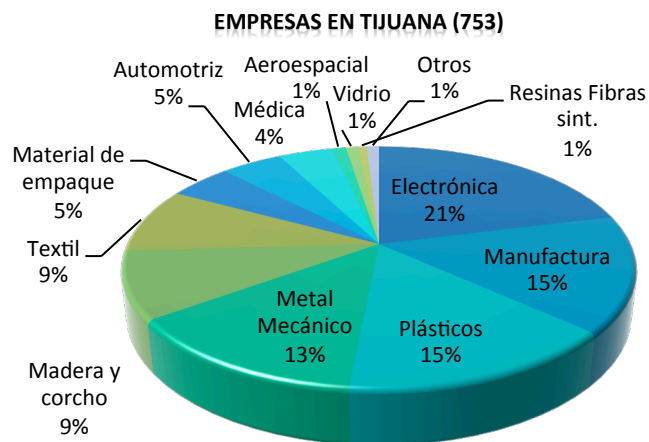


Figura 20. Empresas de Manufactura en Tijuana (Elaboración Propia con información de SEDECO 2012)

4.3.2 Aplicación de Instrumento

Se recibieron 130 encuestas válidas de usuarios de seis sigma de Baja California en un periodo de 6 meses a través de la plataforma google. En general, el 63 % de los usuarios de seis sigma tiene alguna certificación, destacando los green belt con un 35%, números similares a las personas sin certificación, el 37%, lo que representa un área de oportunidad de formación de recurso humano en Baja California, ver Figura 21.

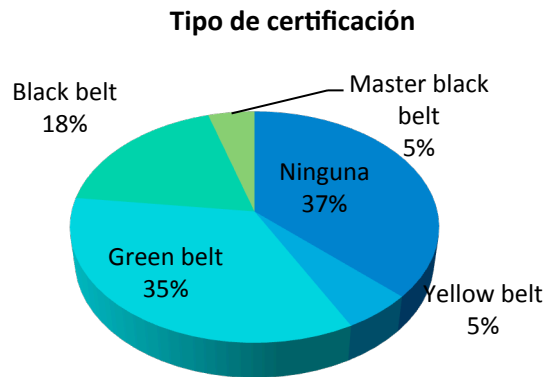


Figura 21. Tipo de Certificación de Usuarios Seis Sigma en Baja California

La composición de los equipos seis sigma, en la más de la mitad se componen por 4 a 6 miembros, mientras que más de 10 personas es poco frecuente con un 10 % como se aprecia en la Figura 22.

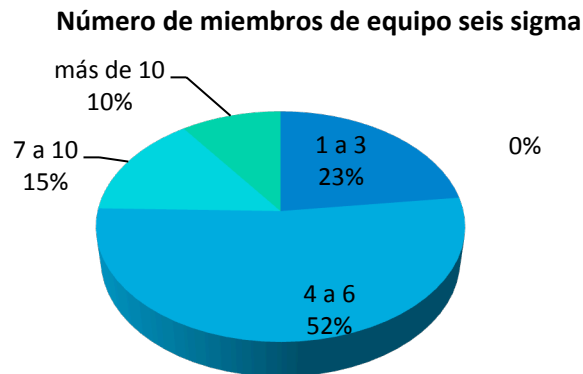


Figura 22. Número de Miembros de Equipos Seis Sigma en Baja California

Por su parte, los tipos de empresas donde laboran los usuarios respondientes de seis sigma es muy variado, prevaleciendo en un 95% empresas de transformación y sólo un 5% de servicios, lo que señala la brecha existente entre esos dos sectores en cuanto a la implementación de metodologías para la mejora de procesos como seis sigma. A su vez, se aprecia en la Figura 23, que la industria médica

destaca con un 33% de los respondientes, lo que supone el grado de especialidad que se tiene, dado las características críticas de sus productos y de la industria.

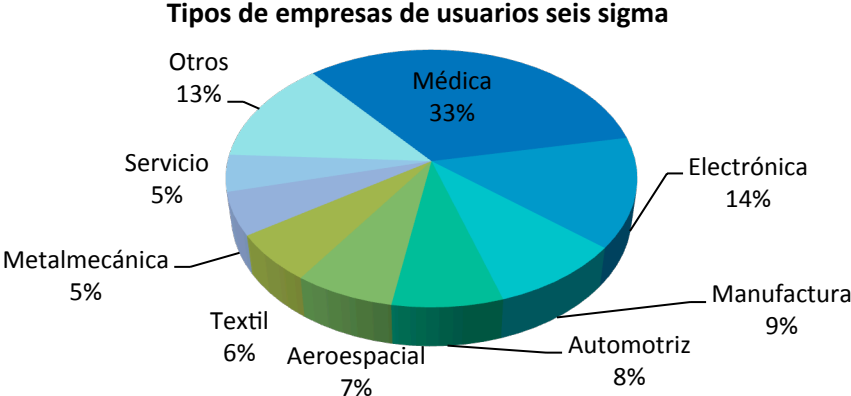


Figura 23. Tipo de Empresas Donde Laboran los Usuarios de Seis Sigma en Baja California

Del seguimiento y control de los proyectos de seis sigma se revisan las frecuencias de revisiones y se observa en la Figura 24 que sólo el 1% no realiza un seguimiento, y que el resto si lo realiza en alguna medida. Esto sugiere que los proyectos desarrollados en Baja California si contemplan este factor importante.

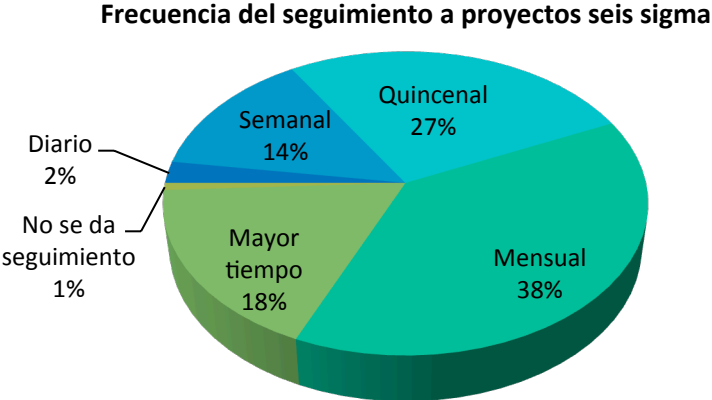


Figura 24. Frecuencia del seguimiento a Proyectos Seis Sigma en Baja California

4.3.3 Confiabilidad del Instrumento y Escala de Medición

Respecto a la validación de la escala sobre las preguntas asociadas a los FCE, se obtuvo un índice alfa de Cronbach IAC para los 21 FCE de IAC= 0.928, tal como se muestra en la Tabla 21, superando el 0.70 recomendado por la literatura, lo que sugiere que los elementos si representan la escala, es decir, si existe concordancia entre los 21 reactivos generados para medir la importancia de los FCE para obtener éxito al implementar seis sigma.

Tabla 21. Confiabilidad de los Reactivos para Medir la Importancia.

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
.928	.932	21

Éxito al implementar seis sigma. Adicionalmente el instrumento incluye la medición del éxito según se reporta en la literatura a través de 5 elementos (características) que son: reducción de la variación Y7, mejoramiento de la calidad Y10, experiencia y autoestima Y9, reducción de costos y aumento de ganancia Y8, y aumento en satisfacción de cliente Y11. Al realizar los cálculos de la confiabilidad de esta escala por medio de SPSS, se obtiene un IAC de 0.572 ver Tabla 22, es decir menor a 0.70 que comúnmente es aceptable.

Tabla 22. Confiabilidad de la Escala Éxito con 5 Elementos.

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
.572	.591	5

Esto se explica debido a que no todos los usuarios experimentaron las 5 características, lo cual denota calificaciones altas en unos y bajas en otros. Sin embargo, al realizar una revisión a los elementos, si se eliminará el elemento *satisfacción del cliente* (Y11 SatisCliente), el índice alfa de Cronbach se incrementaría hasta 0.717, tal como se observa en la Tabla 23.

Tabla 23. Confiabilidad de la Escala al Eliminar Diferentes Elementos.

	Media de la escala si se elimina el elemento	Varianza de la escala si se elimina el elemento	Correlación elemento-total corregida	Correlación múltiple al cuadrado	Alfa de Cronbach si se elimina el elemento
Y7 RedVariación	16.66	2.582	.449	.292	.453
Y10 MejCalidad	16.73	2.555	.527	.311	.419
Y9 ExpAutoestim	16.94	2.384	.423	.263	.458
Y8 RedCostoMasGan	17.00	2.465	.423	.349	.460
Y11 SatisCliente	16.98	3.449	-.047	.058	.717

Sin el elemento satisfacción del cliente (Y11 SatisCliente) en la escala de Éxito, la confiabilidad se incrementa hasta 0.717 como se observa en Tabla 24, lo que implica que sólo 4 elementos miden

realmente la escala éxito al implementar seis sigma y *estos son reducción de la variación, mejoramiento de la calidad, Experiencia y autoestima, y reducción de costos y aumento de ganancias*. Esto coincide con el trabajo de Kumar (2007), que encontró que la mayoría del personal operativo no está convencido con los factores blandos de éxito como lo es satisfacción del cliente.

Tabla 24. Índice de Confiabilidad de la Escala Éxito.

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
.717	.721	4

Confiabilidad de la escala de visión directiva. Este constructo se compone de tres dimensiones que son *Involucramiento de la alta dirección, Selección de proyecto seis sigma y Proporcionar educación y entrenamiento*; siendo la confiabilidad de 0.826, es decir la consistencia interna de las dimensiones del constructo es alta.

Confiabilidad de la escala de estrategia de implementación. Referente al constructo *Estrategia de implementación*, éste se compone de tres dimensiones que son *Enfoque en objetivos, Seguimiento y revisión de proyectos y Liderazgo de proyectos seis sigma*; siendo la confiabilidad de 0.714, es decir la consistencia interna de las dimensiones del constructo es aceptable.

Confiabilidad de la escala de equipo colaborativo. Por su parte, el constructo *Equipo colaborativo* que se compone de tres dimensiones que son *entender la metodología y herramientas de seis sigma, Involucramiento del equipo y comunicación del equipo*, presenta una confiabilidad de 0.841, es decir la consistencia interna de las dimensiones del constructo es alta.

4.3.4 Validez del Instrumento y la Calificación

Para realizar la validación de la información, se realizó un análisis factorial confirmatorio, donde se obtuvo primeramente la prueba de esfericidad de Barlett arrojando un valor de 566.69 y un p-valor de 0.000, es decir, la matriz de intercorrelación de los datos analizados es significativamente diferente a una matriz identidad. Asimismo la prueba Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) nos arroja un valor de 0.816, por lo que se observa pues que las variables consideradas están midiendo un factor común de manera alta. Ambas pruebas se observan en la Tabla 25.

Tabla 25. Índice KMO y Prueba de Barlett Obtenidos.

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.	.816
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado
	566.696
	gl
	36
	Sig.
	.000

A su vez, las comunalidades o las sumas de cuadrados de las cargas factoriales de cada variable son determinadas y se observan los resultados en la Tabla 26, resaltando comunalidades altas excepto de seguimiento de proyecto con 0.508.

Tabla 26. Comunalidades de los Factores Obtenidos por Componentes Principales.

	Inicial	Extracción
X1 InvolDirec	1.000	.774
X2 SelecProy	1.000	.761
X3 EduEntren	1.000	.750
Y2 Seguimiento	1.000	.508
Y1 Objetivos	1.000	.742
Y3 Liderazgo	1.000	.715
Y6 ComunEqui	1.000	.895
Y5 InvolEquipo	1.000	.792
Y4 EntenMétHerr	1.000	.660

Por otra parte, la varianza que es explicada por los componentes principales obtenidos, es de hasta 73.297 en sólo 3 componentes, ver Tabla 27, los cuales coinciden con lo estipulado de manera teórica, es decir, que tres componentes principales (constructos) son los que mayormente explican la variación de las variables.

Tabla 27. Varianza Total Explicada por Componentes Utilizando Componentes Principales.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4.478	49.754	49.754	4.478	49.754	49.754	2.330	25.894	25.894
2	1.067	11.860	61.614	1.067	11.860	61.614	2.271	25.237	51.131
3	1.051	11.683	73.297	1.051	11.683	73.297	1.995	22.166	73.297
4	.737	8.186	81.482						
5	.561	6.232	87.714						
6	.350	3.894	91.608						
7	.305	3.384	94.992						
8	.270	3.004	97.996						
9	.180	2.004	100.000						

Los componentes principales rotados utilizando varimax del software SPSS 17 se muestran en la Tabla 28, donde se aprecia que tres componentes con igual número de variables son los recomendados, coincidiendo con lo estipulado teóricamente.

Tabla 28. Matriz de Componentes Rotados Utilizando Normalización Varimax del Software SPSS 17.

	Componente		
	1	2	3
Y6 ComunEqui	.886		
Y5 InvolEquipo	.833		
Y4 EntenMétHerr	.676		
X2 SelecProy		.832	
X3 EduEntren		.783	
X1 InvolDirec		.777	
Y1 Objetivos			.810
Y3 Liderazgo			.710
Y2 Seguimiento			.693

Por lo tanto, al haber realizado la validación de los constructos y el instrumento utilizando análisis factorial con componentes principales, se observa que 9 variables pueden ser agrupadas en 3 componentes o escalas (constructos) para su modelación. Además, respecto a la variable de respuesta *éxito*, ésta es mejor representada por cuatro variables en lugar de cinco como inicialmente se había propuesto.

4.4 Resultados del Modelo de Ecuaciones Estructurales de los Factores Críticos de Éxito de Seis Sigma.

Una vez especificado el modelo se procedió a identificar los parámetros, para esto se determinó el número de distintos valores en la matriz S , es decir los distintos momentos muestrales, esto es igual a 91. Ahora bien, al determinar la identificación del modelo, se evalúa la *condición de orden*, es decir el número de parámetros libres a ser estimados debe ser menor o igual al número de distintos valores en la matriz S . La cantidad de parámetros libres en el modelo propuesto es la siguiente:

- 15 factores de carga (coeficientes de regresión)
- 13 varianzas de error de medición
- 3 varianzas de error de predicción
- 0 covarianzas de los errores de medición o correlaciones
- 0 correlaciones entre variables latentes

En total se tienen 31 parámetros libres a estimar, a su vez el número de valores en S es mayor que el número de parámetros libres, siendo esta diferencia los grados de libertad del modelo, es decir $df = 91 - 31 = 60$; así, de acuerdo a la condición de orden, el modelo está sobre-identificado al haber más valores en S que parámetros a ser estimados.

4.4.1 Estimación de Modelo

Una vez que el modelo ha sido especificado e identificado, la siguiente tarea es obtener los estimados de los parámetros libres desde los datos observados en el modelo que produce la matriz estimada Σ , de tal manera que sean lo más parecido posible a la matriz muestral de covarianzas S de las variables observadas. Para tal efecto se utilizó máxima verosimilitud (ML) por ser eficiente y no sesgada cuando se cumplen los supuestos de normalidad multivariable, lo que significa que todas las distribuciones univariadas son normales, que la distribución conjunta de cualquier par de variables es bivariada normal y que todos los diagramas de dispersión son lineales y homoscedásticos.

Los estadísticos de sesgo y curtosis se observan en la Tabla 29, junto con los respectivos valores estandarizados o razón crítica (c.r.), los cuales resultan de dividir los valores de sesgo y curtosis con sus respectivos errores estándares. El error estándar del sesgo se determina con $\sqrt{6/n}$ es decir $error\ estándar = \sqrt{6/130} = 0.214$ y en el caso de la curtosis el error estándar es $\sqrt{24/n}$ es decir $error\ estándar = \sqrt{24/130} = 0.42$

Tabla 29. Sesgo y Curtosis para Determinar Normalidad

Variable	min	max	sesgo	c.r.	curtosis	c.r.
X3EduEntren	3.000	5.000	-.931	-4.333	-.154	-.359
X1InvolDirec	2.000	5.000	-.979	-4.556	.325	.757
X2SelecProy	3.000	5.000	-1.427	-6.642	.910	2.117
Y5InvolEquipo	2.000	5.000	-1.289	-5.998	1.729	4.024
Y1Objetivos	2.000	5.000	-.793	-3.691	.212	.493
Y3Liderazgo	2.000	5.000	-1.006	-4.685	1.267	2.949
Y2Seguimiento	3.000	5.000	-.380	-1.769	-.679	-1.580
Y7RedVariación	4.000	5.000	-.280	-1.302	-1.922	-4.473
Y10MejCalidad	2.000	5.000	-.338	-1.572	.926	2.156
Y9ExpAutoestim	2.000	5.000	-.434	-2.022	.519	1.208
Y8RedCostoMasGan	2.000	5.000	-.679	-3.159	.988	2.300
Y4EntenMétHerr	2.000	5.000	-1.077	-5.015	1.372	3.193
Y6ComunEqui	2.000	5.000	-1.063	-4.947	1.492	3.473
Multivariate					54.457	15.720

Para detectar anormalidad, se analizan los valores estandarizados absolutos de sesgo y curtosis, apreciándose en la Tabla 29, que los valores de sesgo no rebasan el valor absoluto de 1.5 por lo que se pueden considerar como anormalidad moderada. Además, bajo el criterio de Curran et al. (1997), sólo los valores de Y2, Y7, Y9 y Y10 no presentan sesgo grande. En el caso de curtosis, sólo los valores de Y5 y Y7 rebasan ligeramente el valor de 1.5 propuesto por Lomax (1989), además, con respecto a los valores estandarizados (c.r.) de curtosis no rebasan el valor de 10 propuesto por Kline (2005), de hecho el mayor es 4.47, por lo que no se aprecia problemas de anormalidad.

Para el modelo propuesto se utilizó el método de estimación de Máxima Verosimilitud ya que el supuesto de normalidad se cumple altamente. Para esto se utilizó el software AMOS 17 y SPSS 17 para el procesamiento de los datos de las 130 muestras válidas obtenidas. El resultado del análisis arroja los valores no estandarizados de los 19 estimados de parámetros de los coeficientes de regresión en letra **negrita color azul**, tal como se muestran en la Figura 25, así como las 17 varianzas de los errores de medición y los errores de predicción en letra cursiva.

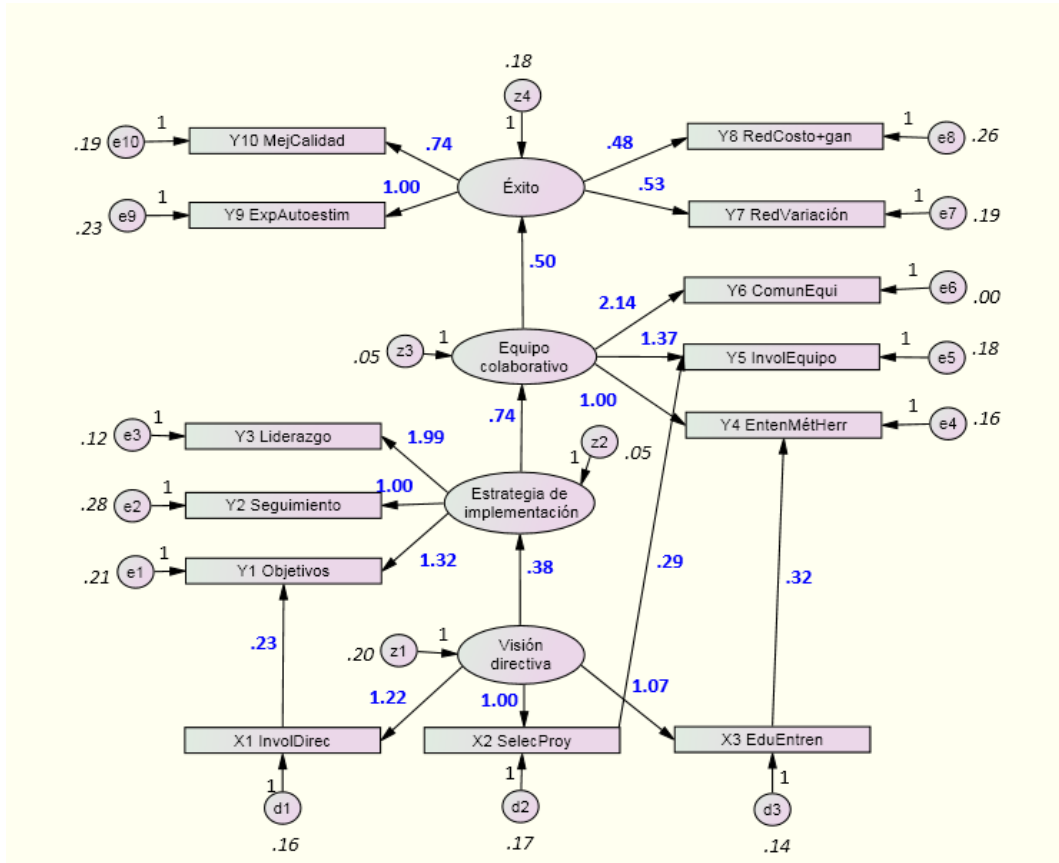


Figura 25. Modelo Propuesto con Estimados de Parámetros A Través de Amos 17

Respecto al ajuste del modelo, posteriormente se realizaron diferentes pruebas, considerando la diferencia entre la matriz de varianzas y covarianzas observada y predicha (matriz residual), es decir el ajuste del modelo, donde se calculó el índice de razón de verosimilitud o Chi cuadrada χ^2 (CMIN), así como los índices GFI y AGFI, los cuales se muestran en la Tabla 30, destacando los índices GFI= 0.882 y AGFI=0.821, están muy cercanos a 0.90, lo cual implica un buen ajuste de modelo (Schumacker & Lomax, 2010).

Tabla 30. Resumen de Índices de Ajuste de Modelo

Modelo	NPAR	CMIN	DF	P	CMIN/DF
Modelo propuesto	31	113.776	60	.000	1.896
Modelo saturado	91	.000	0		
Modelo independiente	13	720.511	78	.000	9.237

Modelo	RMR	GFI	AGFI	PGFI
Modelo propuesto	.030	.882	.821	.582
Modelo saturado	.000	1.000		
Modelo independiente	.120	.437	.343	.375

Ahora se procede a obtener los índices de comparación entre modelos Tucker-Lewis (TLI), así como el índice de ajuste normado (NFI), destacando nuevamente que los valores tanto de NFI=0.842 y TLI=0.891 son cercanos al valor recomendado de 0.90 que representa un buen ajuste de modelo, los resultados tal como se arrojan en Amos 17 se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31. Índices de Comparación de Modelos.

Modelo	NFI	RFI	IFI	TLI	CFI
Modelo propuesto	.842	.795	.919	.891	.916
Modelo saturado	1.000		1.000		1.000
Modelo independiente	.000	.000	.000	.000	.000

En el caso de parsimonia, los índices de ajuste normado de parsimonia (PNFI) y criterio de información Akaike (AIC) mostrados en la Tabla 32, se utilizan para comparar modelos entre sí y ver cual presenta mejor parsimonia, en el caso del primer índice sus valores van de 0 a 1, y valores cercanos a uno presentan un buen ajuste, en el modelo propuesto el PNFI= 0.648; respecto al índice AIC, el modelo propuesto presenta un AIC=175.776 y fue el menor entre más de 60 modelos comparados con las mismas variables.

Tabla 32. Resumen de Índices de Parsimonia.

Modelo	PRATIO	PNFI	PCFI
Modelo propuesto	.769	.648	.705
Modelo saturado	.000	.000	.000
Modelo independiente	1.000	.000	.000

Modelo	AIC	BCC	BIC	CAIC
Modelo propuesto	175.776	183.324	264.670	295.670
Modelo saturado	182.000	204.157	442.946	533.946
Modelo independiente	746.511	749.676	783.789	796.789

Para el modelo propuesto se utiliza Máxima Verosimilitud del software AMOS 17, para lo cual se obtienen los 19 estimados de parámetros de los coeficientes de regresión, tal como se muestran en la Tabla 33, donde se puede observar en la sección derecha, el estimado, el error estándar (S.E.), la razón crítica (C.R.), el valor P, y la etiqueta (label) que usó el software.

Tabla 33. Estimados de Coeficientes de Regresión del Modelo Propuesto.

		Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
Estrategia de_ implementación	<--- Visión_directiva	.375	.099	3.795	***	par_14
Equipo_colaborativo	<--- Estrategia de_ implementación	.741	.187	3.954	***	par_12
X3EduEntren	<--- Visión_directiva	1.073	.131	8.191	***	par_6
X1InvolDirec	<--- Visión_directiva	1.224	.153	8.022	***	par_7
Éxito	<--- Equipo_colaborativo	.502	.182	2.763	.006	par_13
X2SelecProy	<--- Visión_directiva	1.000				
Y7RedVariación	<--- Éxito	.530	.152	3.487	***	par_1
Y8RedCostoMasGan	<--- Éxito	.481	.143	3.357	***	par_2
Y2Seguimiento	<--- Estrategia de_ implementación	1.000				
Y5InvolEquipo	<--- Equipo_colaborativo	1.366	.221	6.184	***	par_3
Y1Objetivos	<--- X1InvolDirec	.234	.081	2.903	.004	par_4
Y4EntenMétHerr	<--- X3EduEntren	.324	.064	5.076	***	par_5
Y1Objetivos	<--- Estrategia de_ implementación	1.324	.318	4.166	***	par_8
Y3Liderazgo	<--- Estrategia de_ implementación	1.985	.420	4.729	***	par_9
Y4EntenMétHerr	<--- Equipo_colaborativo	1.000				
Y6ComunEqui	<--- Equipo_colaborativo	2.138	.276	7.743	***	par_10
Y10MejCalidad	<--- Éxito	.743	.199	3.727	***	par_11
Y9ExpAutoestim	<--- Éxito	1.000				
Y5InvolEquipo	<--- X2SelecProy	.292	.066	4.441	***	par_15

Se realiza una revisión de los estimados de parámetros iniciales, para identificar un modelo defectuoso o mal identificado. En este sentido los parámetros iniciales sirven como valores de inicio. Utilizando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ se encuentra que los 19 parámetros son significativamente diferentes de cero y además son positivos, esto se verifica con los valores-P menores que 0.05 y con el signo positivo de los coeficientes de regresión. Lo anterior se interpreta en el caso de *Visión directiva*, que cada vez que ésta variable se incrementa una unidad, *Estrategia de implementación* también se incrementa 0.375 unidades. Además en la Tabla 34 se aprecia los valores estimados de las varianzas de los errores, denotados con letra $\zeta = z$ los errores de predicción, con la letra $\delta = d$ los errores de medición de variables observadas exógenas y la letra $\varepsilon = e$ los errores de medición de las endógenas; por ejemplo, con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ la varianza z4 es estadísticamente igual a cero y el resto son diferente de cero.

Tabla 34. Estimados de Varianzas del Modelo Propuesto.

Varianza	Estimate	S.E.	C.R.	P	Label
z1	.204	.045	4.530	***	par_16
z2	.049	.020	2.477	.013	par_17
z3	.048	.015	3.304	***	par_18
z4	.041	.023	1.806	.071	par_19
d2	.167	.028	6.058	***	par_20
d1	.156	.034	4.647	***	par_21
d3	.137	.027	5.051	***	par_22
e6	.000				
e4	.160	.020	8.031	***	par_23
e8	.264	.037	7.204	***	par_24
e9	.228	.055	4.127	***	par_25
e10	.193	.037	5.168	***	par_26
e7	.189	.028	6.645	***	par_27
e2	.280	.037	7.485	***	par_28
e3	.121	.034	3.514	***	par_29
e1	.215	.032	6.782	***	par_30
e5	.184	.023	8.031	***	par_31

4.4.2 Modificación del Modelo

Para el modelo propuesto, se hicieron 67 modificaciones previas al modelo que incluyeron convertir en parámetros fijos los no significativos, y además, como se puede apreciar en la Tabla 35, los únicos residuales estandarizados que rebasan 2.58, se dan entre las variables observadas *Y1 enfoque en objetivos* y *Y9 experiencia y autoestima del personal*, así como *Y7 reducción de la variación* y *Y4 Entender la metodología*. Sin embargo, dado que *Y7* y *Y9* son parte de la variable de respuesta, éxito, que ya está siendo explicada por el resto de variables observadas, estas dos relaciones no tienen sentido ni justificación teórica, por lo cual se desestiman.

Tabla 35. Residuales de Covarianzas Estandarizados

	X3EduEntren	X1InvolDirec	X2SelecProy	Y5InvolEquipo	Y1Objetivos	Y3Liderazgo	Y2Seguimiento	Y7RedVariación	Y10MejCalidad	Y9ExpAutoestim	Y8RedCostoMasGan	Y4EntenMétHerr	Y6ComunEqui
X3EduEntren	.00												
X1InvolDirec	-.12	.00											
X2SelecProy	.19	-.01	.00										
Y5InvolEquipo	1.0	.03	.16	.06									
Y1Objetivos	-.28	.17	-1.4	-1.5	.06								
Y3Liderazgo	-.58	.67	-.58	-.20	.27	.00							
Y2Seguimiento	1.0	.19	.73	-.57	.74	-.30	.00						
Y7RedVariació	-1.8	-1.9	.68	-.76	-2.1	-1.2	1.5	.00					
Y10MejCalidad	-1.5	-1.0	1.0	.16	-1.4	-.78	.59	.96	.00				
Y9ExpAutoesti	-.62	-1.8	.67	-.54	-2.6	-1.7	-.37	-.05	-.18	.00			
Y8RedCostoMa	1.7	-1.0	1.9	1.4	-.67	-.22	-.21	-.73	-.94	.54	.00		
Y4EntenMétHe	.49	.50	.99	.51	.48	-.60	.16	-2.6	.11	-.74	.45	.27	
Y6ComunEqui	1.0	-.32	.27	.06	-.39	.09	-.32	-1.3	.20	-.07	1.7	.31	.00

Para la determinación del tamaño apropiado de muestra se utiliza la N crítica (CN) de Hoelter que al calcular con el software AMOS 17, se observa en la Tabla 36 que la muestra mínima a un nivel $\alpha = 0.05$ es de 90 y de 101 para $\alpha = 0.01$; en este sentido, dado que la muestra es de 130, se supera el mínimo al nivel $\alpha = 0.01$

Tabla 36. Tamaño de Muestra N Crítica de Hoelter.

Model	HOELTER (0.05)	HOELTER (0.01)
Default model	90	101
Independence model	18	20

4.4.3 Validación del Modelo

Para el modelo propuesto, se realiza una división aleatoria de la muestra de 130 encuestas, quedando primeramente dos subgrupos de 65 denominados A y B respectivamente, cuyos índices esperados de validación cruzada ECVI son 2.820 y 2.374 respectivamente y se muestran en la Tabla 37 y Tabla 38. En este caso, los intervalos van desde 2.396 hasta 3.365 para la sub-muestra A y de 2.037 hasta 2.835 para la sub-muestra B, es decir los valores esperados son consistentemente iguales en ambas sub-muestras lo que hace valido el modelo propuesto, tal como sugieren Browne y Cudeck (1989).

Tabla 37. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra A

Modelo	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Modelo propuesto	2.820	2.396	3.365	3.091
Modelo saturado	2.844	2.844	2.844	3.640
Modelo independiente	7.802	6.789	8.932	7.916

Tabla 38. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra B

Modelo	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Modelo propuesto	2.374	2.037	2.835	2.645
Modelo saturado	2.844	2.844	2.844	3.640
Modelo independiente	5.489	4.678	6.419	5.603

Por otra parte, Benson y El-Zahhar (1994), y Benson et al. (1992) encontraron que el índice (ECVI) presenta resultados similares cuando se usan múltiples muestras. Por lo que el análisis se repite con la generación adicional de dos sub-muestras aleatorias denominadas C y D, cuyos índices esperados de validación cruzada ECVI son 2.312 y 2.654 respectivamente, e intervalos desde 1.989 hasta 2.76 para la sub-muestra C y de 2.261 hasta 3.170 para la sub-muestra D, es decir los valores esperados son consistentemente iguales en ambas sub-muestras y se aprecian en la Tabla 39 y Tabla 40.

Tabla 39. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra C

Modelo	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Modelo propuesto	2.312	1.989	2.760	2.583
Modelo saturado	2.844	2.844	2.844	3.640
Modelo independiente	8.105	7.068	9.259	8.218

Tabla 40. Índice Esperado de Validación Cruzada ECVI para Sub-Muestra D

Modelo	ECVI	LO 90	HI 90	MECVI
Modelo propuesto	2.654	2.261	3.170	2.925
Modelo saturado	2.844	2.844	2.844	3.640
Modelo independiente	5.358	4.560	6.275	5.472

Interpretación de la relación entre constructos. Cada vez que la *visión directiva* se incrementa una unidad, *Estrategia de implementación* también se incrementa 0.375 unidades, a su vez *Estrategia de implementación* al incrementarse una unidad *equipo colaborativo* también se incrementa hasta 0.74 unidades. Por último si *equipo colaborativo* se incrementa una unidad, el constructo *éxito* se puede incrementar en 0.50 unidades, de aquí la importancia de fomentar el incremento positivo de estos constructos que a su vez son explicados por nueve diferentes factores a considerar.

Interpretación del constructo *Visión directiva*. Si se tiene un alto nivel de *involucramiento de la dirección, una selección de proyecto adecuado* y además se proporciona *educación y entrenamiento* al personal esto es evidencia de un alto nivel de *visión directiva*.

Interpretación del constructo *Estrategia de implementación*. De manera similar, se tiene evidencia de una buena *estrategia de implementación* si se fomenta los proyectos con *enfoque a objetivos* de la empresa, si se da un *liderazgo* positivo en el proyecto y además se tiene un *seguimiento* del mismo.

Interpretación del constructo *Equipo colaborativo*. Por su parte, un equipo colaborativo se presenta cuando se tiene un alto nivel de *entendimiento de la metodología* seis sigma por parte de los miembros del equipo seis sigma, una buena *comunicación del equipo*, así como un alto *involucramiento del equipo*.

Interpretación del constructo *Éxito*. Comúnmente se mencionan factores en la literatura que ayudan a obtener éxito al implementar seis sigma, sin embargo las dimensiones de éxito son muy variadas. En este proyecto se logró determinar cuatro dimensiones o factores que son explicados por este constructo, es decir, cuando estos factores se dan de manera positiva, se tiene también éxito al implementar un proyecto seis sigma. Dichos factores son:

- Reducción de la variación;
- Reducción de costos y aumento de ganancias;
- Experiencia y autoestima del personal;
- Mejora de la calidad.

4.5 Resultado de las Hipótesis

4.5.1 Factores que Intervienen en la Implementación Exitosa de Seis Sigma.

Se acepta de manera parcial la hipótesis nula: Los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma en empresas de Baja California en la actualidad son: *infraestructura organizacional, involucramiento de la dirección, selección del proyecto, enfoque al cliente, administración de proyecto, ligar seis sigma a proveedores, enfoque en objetivos, ligar seis sigma a recursos humanos, seguimiento de proyectos, involucramiento de equipo, comunicación del equipo, compensación, educación y entrenamiento, y cambio cultural*.

Se tiene evidencia de que de estos 14 factores, 7 factores si intervienen en la implementación exitosa de seis sigma en empresas de Baja California y son: *involucramiento de la dirección, selección del proyecto, enfoque en objetivos, seguimiento de proyectos, involucramiento de equipo, comunicación del equipo, educación y entrenamiento*. Adicionalmente los factores *liderazgo*, así como *entendimiento de la metodología* completan el grupo de 9 factores que cumplen esta condición.

Este resultado se obtuvo a raíz de la información recibida por los usuarios de seis sigma de empresas de Baja California, sin embargo, respecto a la literatura analizada, se encontró que los factores con

mayor número de citas a nivel mundial y que por ende son referencia probada de implementación exitosa de la metodología son: *Involucramiento de la dirección, selección de proyecto, educación y entrenamiento, enfoque al cliente, cambio cultural, infraestructura organizacional, vincular seis sigma a estrategias del negocio, entendimiento de la metodología, habilidades en la administración de proyectos y vincular seis sigma a los proveedores*. Esto no concuerda del todo con lo que sucede en Baja California, lo que implica que no necesariamente esos mismos factores probados a nivel internacional, tengan también en determinada región o país resultados similares, esto debido principalmente a cuestiones culturales. Al respecto Gray y Anantatmula (2009) también encuentra que los estilos y la variación en que los proyectos seis sigma son formulados y ejecutados, dejan una gran área de oportunidad. Asimismo, Crom (2000) resalta la importancia de adaptar seis sigma de acuerdo a las características culturales y regionales de cada país. Mismo punto de vista que Nonthaleerak y Hendry (2006), que argumentan se requiere el desarrollo de un modelo seis sigma que incorpore factores críticos de éxito en el contexto de las culturas nacionales. Sin embargo, también debe considerarse los requerimientos de la cultura corporativa de cada empresa, donde la terminología y la infraestructura de seis sigma sea creada de tal forma que sea relevante (Schön, 2006).

Respecto al FCE **involucramiento y compromiso de la dirección**, fue en la literatura el factor más reportado en años recientes y quinto más importante en B.C., sin embargo se debe considerar especialmente importante, porque de la dirección derivan otros factores más como la *selección del proyecto, el seguimiento y control* a estos, el proporcionar *educación y entrenamiento, el enfoque a objetivos, el liderazgo* y hasta el *cambio cultural* también se inicia con este factor. Y es que la atención y compromiso que la dirección le da a las iniciativas de calidad, plantea aspectos culturales (Wasik & Ryan, 1993). La importancia que se debe de dar este factor es consistente con Lee (2002), Hahn (2005), Kwak y Anbari (2006) así como Brady y Allen (2006).

Referente a la **selección y priorización de proyectos**, Kanani (2006) indica que es el más importante FCE; en el análisis de literatura hecho en esta disertación resultó ser el segundo más reportado por los autores en años recientes, sin embargo, en cuanto a los usuarios de Baja California, este FCE fue el que mayor calificación de importancia tuvo, lo que nos habla de una coincidencia fundamental. En el mismo sentido está Pande et al. (2002), quien ubica a este FCE como la parte más importante y difícil de seis sigma. Inclusive Tkác & Lyócsa (2009) argumentan que existe una gran cantidad de metodologías científicas válidas que pueden potencialmente ser usados para seleccionar proyectos seis sigma; sin embargo, publicaciones científicas de selección y evaluación de proyectos seis sigma son escasas. En este sentido, Yang y Hsieh (2009) propusieron usar los criterios del premio nacional de calidad (por ejemplo ellos aplican de Taiwan), para seleccionar un proyecto seis sigma. Esto pudiera ser una opción para Baja California, ya que cuenta con un premio estatal a la calidad y competitividad, el cual está acorde al premio nacional de calidad.

En referencia a **educación y entrenamiento**, este FCE fue tercero tanto en la literatura como en la importancia para usuarios de seis sigma en el estado. Así pues, recursos para entrenamiento son críticos para la estructura de seis sigma en el desarrollo de las habilidades de los especialistas

(Linderman et al. 2003). De acuerdo con esto, Johnson y Swisher (2003), indican que la educación continua y el entrenamiento de los administradores y participantes es muy importante. Este FCE está ligado con involucramiento y compromiso de la dirección; por lo que, para realmente tomar ventaja de seis sigma, se cree que la dirección debe involucrarse en el entrenamiento y educación.

Respecto al **involucramiento del equipo**, este fue cuarto en Baja California y 14 en la literatura, lo que sugiere a su vez diferencia en aspectos culturales. En este sentido los miembros deben ser facultados para seleccionar la mejor metodología para lidiar con proyectos seis sigma. Esto despierta el involucramiento en ellos. Por otra parte, la autonomía que se les dé para toma de decisiones, los motiva a seleccionar la mejor metodología (Jones, Mellat, & Adams, 2010). Además el involucramiento se debe hacer de manera vertical pero también es importante involucrar a la gente de manera horizontal (Gibbons, 2006). A este enfoque Welch y Byrne (2001) le llaman colaboración sin fronteras. A su vez Pande et al. (2000) la definen como rompimiento de barreras para mejorar el trabajo en equipo arriba, abajo y a través de la organización. Este involucramiento del equipo, implica el *empoderamiento* del personal, es decir, dar a los empleados mayor control sobre su vida laboral. Al respecto Eisenberger et al. (1986) argumenta que los trabajadores necesitan aprobación organizacional para sus acciones en el lugar de trabajo; ellos necesitan legitimación de las altas autoridades para soportar la consecuencia de sus actos. Consecuentemente el compromiso de los empleados con la organización depende en la percepción de estos acerca del compromiso de la organización con ellos (Randall, Bennett, & Liden, 1996).

Entendimiento de la metodología fue el segundo FCE en el caso de usuarios de Baja California y octavo en la literatura, en este factor, se aborda la necesidad de no sólo tener capacitación en seis sigma, sino también demostrar entendimiento de lo que implica. Un entendimiento superficial podría provocar errores de implementación.

Comunicación del equipo seis sigma. La comunicación interna de los miembros es fundamental para el éxito de seis sigma, pero también, como comenta Goldstein (2001), es importante desarrollar un plan para comunicar el programa SS a toda la organización, donde en un inicio se comunique lo que es seis sigma, los objetivos de negocio, el plan de despliegue, y participación de empleados. También es importante conforme el programa avanza, comunicar: los planes de formación, los proyectos seleccionados, en proceso y terminados, beneficios para el negocio hasta la fecha, y a los clientes, nuevos impactos e incrementos de ventas. Este FCE en particular

Respecto a **Liderazgo en los proyectos seis sigma**, un supuesto importante es que los empleados deben estar debidamente motivados para mejorar su trabajo, ya que la mayoría de las personas están intrínsecamente motivadas cuando se trabaja en un entorno sin temor y sin coerción (Detert, Schroeder, & Muriel, 2000). Este FCE fue 7 y 12 en B.C. y en la literatura respectivamente.

Enfoque en objetivos estratégicos fue 8 en Baja California y 15 en la literatura. En este tema Pyzdek (2004) presenta una forma de cómo los objetivos pueden ser usados para impulsar la estrategia y directamente ligados a la acción mediante la aplicación de herramientas como el cuadro de mando

integral (balanced scorecard) y mapeo de cadena de valor (value stream map). Como recomendación, Linderman et al. (2003) sugiere tener objetivos específicos y retos que conduzcan a una mejor magnitud del éxito que solo teniendo objetivos no claros.

Seguimiento y control de proyectos seis sigma. Es el noveno en importancia en proyectos de B.C. y 13 según la literatura consultada. En este punto, las revisiones periódicas ayudan a calibrar los proyectos y ajustar donde se requiera. Por ejemplo, Goldstein (2001), habla de establecer un sistema para el seguimiento de todos los proyectos que incluye proyectos presentados para su consideración, los proyectos aceptados para la ejecución, los proyectos en curso y proyectos completados para poder llegar a la meta deseada.

Respecto a selección del equipo, sistema de datos, enfoque al balance financiero y enfoque estructurado parecen decrecer en uso por los usuarios de seis sigma. Esto puede denotar que el enfoque de los usuarios está cambiando a través del tiempo. Otros FCE como integración de seis sigma con la infraestructura financiera, compartir conocimiento, administración de documentos, soporte técnico, programa de incentivos y ambiente seguro de trabajo, no fueron considerados en el análisis ya que no son mencionados en el primer periodo, sin embargo en el segundo periodo son reportados por los autores, por eso que se recomienda tomarlos en cuenta en futuras aplicaciones.

4.5.2 Agrupamiento de Factores que Intervienen en la Implementación Exitosa de Seis Sigma

Se acepta la hipótesis nula 2: Los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma, se agrupan en los constructos visión directiva, estrategia de implementación y equipo colaborativo.

4.5.3 Constructo Visión Directiva

Se rechaza la hipótesis nula 3: Los factores *infraestructura organizacional, involucramiento de la dirección, selección del proyecto, y enfoque al cliente* son explicados por el constructo visión directiva.

De hecho se tiene evidencia que los factores *Involucramiento de la dirección, selección del proyecto*, así como *educación y entrenamiento* son los factores explicados por el constructo visión directiva.

4.5.4 Constructo Estrategia de Implementación

Se acepta parcialmente la hipótesis nula 4: Los factores *administración de proyecto, ligar seis sigma a proveedores, enfoque en objetivos, ligar seis sigma a recursos humanos, y seguimiento de proyectos* son explicados por el constructo estrategia de implementación.

Se tiene evidencia que los factores *enfoque en objetivos, y seguimiento de proyectos* si son explicados por el constructo estrategia de implementación, quien a su vez explica también el factor *liderazgo*.

4.5.5 Constructo Equipo Colaborativo

Se acepta parcialmente la hipótesis nula 5: Los factores *involucramiento de equipo, comunicación del equipo, compensación, educación y entrenamiento, y cambio cultural* son explicados por el constructo equipo colaborativo.

Se tiene evidencia que los factores *involucramiento de equipo, comunicación del equipo, y entender la metodología* son explicados por el constructo equipo colaborativo. Sin embargo *compensación, educación y entrenamiento*, así como equipo colaborativo no son explicados por este constructo.

4.5.6 Variables que Caracterizan el Éxito al Implementar Seis Sigma

Se acepta parcialmente la hipótesis nula 6: Las variables que caracterizan el éxito al implementar seis sigma son: *reducción de la variación, experiencia y autoestima*, así como *mejora de calidad*.

Se tiene evidencia que los factores *reducción de la variación, experiencia y autoestima, mejora de calidad*, así como reducción de costos son explicados por el constructo éxito.

4.5.7 Relación Entre los Factores para Explicar Éxito al Implementar Seis Sigma

Se acepta la hipótesis nula 7: Existe una relación lineal del constructo visión directiva que explica al constructo estrategia de implementación que explica al constructo equipo colaborativo que a su vez explica el constructo éxito al implementar un proyecto seis sigma.

En este sentido, se confirmó que los constructos propuesto al inicio de la investigación participan en la explicación éxito al implementar un proyecto seis sigma, sin embargo no se confirmó la totalidad de factores propuesto. La Figura 26 muestra las relaciones existentes tanto de factores hacia los constructos, como entre los constructos.

El constructo *visión directiva* se considera el iniciador de un buen proyecto seis sigma. Es explicado por 3 variables observadas, las cuales en orden de explicación son el involucramiento y compromiso de la alta dirección, educación y entrenamiento, y selección del proyecto. Además se tienen 3 relaciones causales donde el involucramiento de la alta dirección fomenta que se tenga un enfoque a los objetivos estratégicos de la empresa, luego educación y entrenamiento propicia el entendimiento de la metodología y finalmente la selección del proyecto abre un área de oportunidad para el involucramiento.

El constructo visión directiva cuando es adecuada, propicia que se tenga una estrategia de implementación de los proyectos seis sigma, es decir, un constructo propicia al otro. En el caso de estrategia de implementación, éste es caracterizado por 3 variables observadas, que en orden de explicación son el enfoque a objetivos estratégicos de la organización, liderazgo y por último que se tenga una estrategia definida de seguimiento y control de proyectos.

Cuando el constructo estrategia de implementación es apoyado adecuadamente, se impulsa al constructo equipo colaborativo. Esto es caracterizado en orden de explicación por la comunicación del equipo, involucramiento del equipo y por el entendimiento de la metodología.

Cuando se apoya positivamente al constructo visión directiva, por consecuencia se apoya de manera positiva al constructo estrategia de implementación de proyectos seis sigma y formación de equipos colaborativos. Cuando se apoya adecuadamente estos tres constructos, entonces se tienen las bases para lograr reducción de la variación, reducción de costos, aumentos de ganancias, mejora de la calidad y obtener tanto experiencia como autoestima. Es decir, se obtiene éxito al implementar seis sigma.

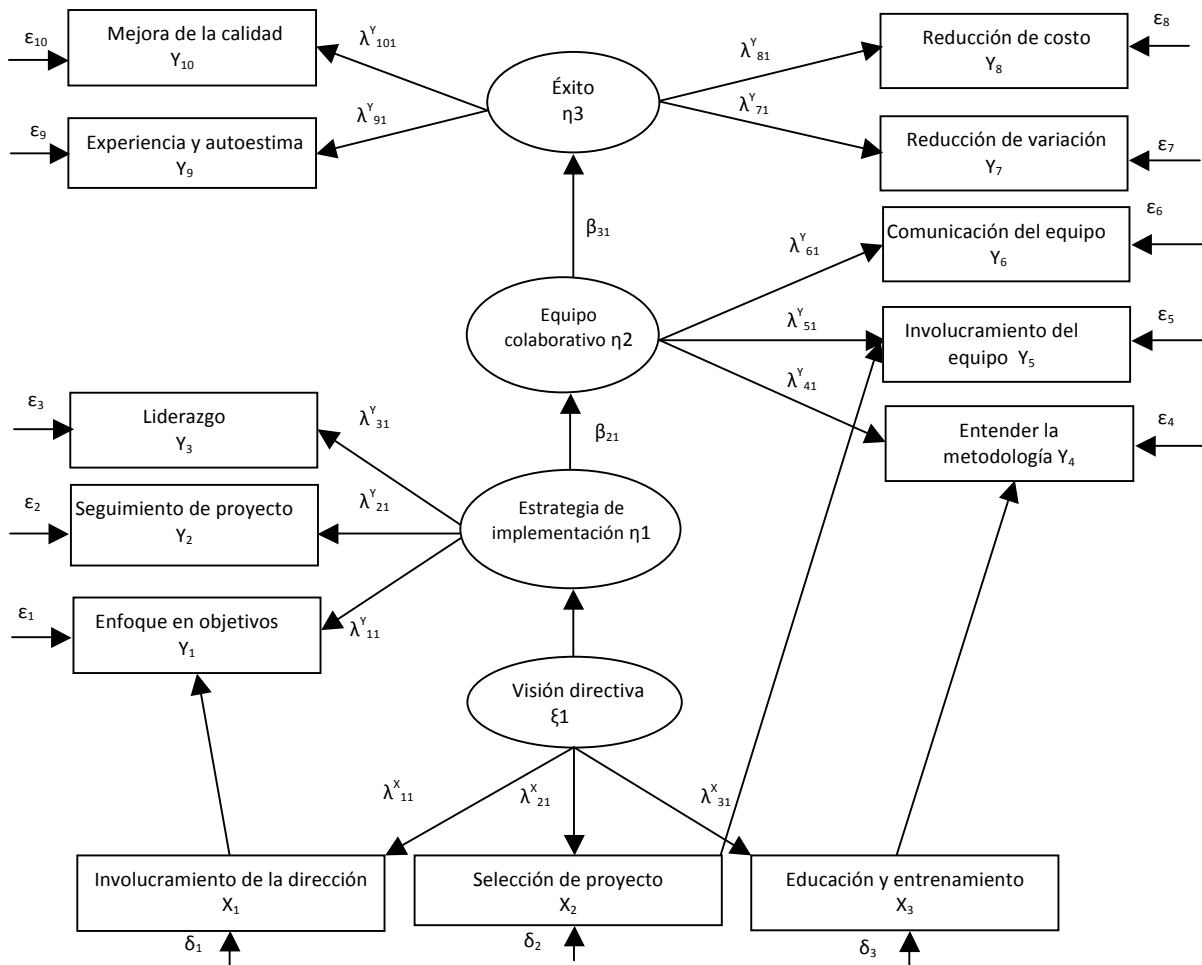


Figura 26. Relaciones Entre Factores que Explican el Éxito al Implementar Seis Sigma

4.5.8 Herramientas y técnicas más utilizadas

Se rechaza la hipótesis nula 8: Las herramientas que más se utilizan en la actualidad en seis sigma son: repetibilidad y reproducibilidad, capacidad de proceso, gráficos de control, diseños factoriales, regresión y correlación, matriz causa-efecto, análisis del modo y efecto de falla, y plan de control.

De hecho se tiene evidencia que las herramientas y técnicas que más se reportan como utilizadas en proyectos exitosos de seis sigma son: *diagrama causa y efecto* como el número uno en cuanto a citas, le sigue *diseño de experimentos*, *AMEF*, *diagrama Pareto*, *control estadístico de proceso*, *mapa de proceso*, *capacidad de procesos*, *prueba de hipótesis*, *brainstorming*, y *diagrama sipoc*, *diagrama de flujo*, *Anova* y *análisis de regresión*. Todas ellas tienen proporción de reportes mayor que 0.3 en la literatura consultada.

Las HyT usadas en seis sigma no son nuevas, hay muchas de carácter estadístico y de análisis de datos que pueden ser usadas para seis sigma debido a su enfoque cuantitativo, sin embargo también se usa herramientas cualitativas (Ricondo & Viles, 2005). Para Thawani (2004), seis sigma es como “viejo vino en nueva botella”, dado que la mayoría de las herramientas “empacadas en seis sigma” han estado por muchas décadas. Los resultados sugieren un balance entre HyT estadísticas y no estadísticas. Esto es consistente con un estudio conducido en China por Bañuelas et al. (2009), ellos encontraron que el *diagrama Pareto*, *AMEF*, *Diagrama causa efecto*, *control estadístico de proceso*, *diseño de experimentos*, *prueba de hipótesis*, *análisis al sistema de medición MSA*, *análisis de regresión*, *mapeo de la cadena de valor VSM*, *5's* y *poka yokes* son las HyT más utilizadas.

En el área estadística, Yang (2004) argumenta que el *diseño de experimentos* y el *análisis de regresión* se encuentran entre los más importantes “caballos de batalla” en el movimiento seis sigma y sus aplicaciones alcanzaron mucho en el mejoramiento de la calidad y las ganancias. En una manera similar, Nonthaleerak y Hendry (2006) encontraron que el *diseño de experimentos* es la herramienta más frecuentemente estudiada en la literatura. Por su parte Chan y Spedding (2001) condujeron un estudio y recomendaron el uso de tres herramientas: *diseño de experimentos*, *superficie de respuesta* y *redes neuronales* para la construcción de modelos de soporte para la toma de decisiones y así alcanzar la calidad de rendimiento seis sigma.

Para Bendell (2004), los programas seis sigma tienen una característica común, todos ellos se enfocan en el uso de técnicas estadísticas y otras herramientas “del lado izquierdo del cerebro”. El autor señala que puede ser la gran fuerza pero también la gran debilidad de la metodología. Bendell (2004) sugiere que el pensamiento “del lado derecho del cerebro”, la creatividad e innovación puede contribuir enormemente al éxito de la implementación. El aspecto importante sin embargo, es el uso integral y holístico de la parte derecha e izquierda del cerebro. Al respecto, Ho et al. (2006), comentan que algunos proyectos seis sigma fallan debido a un sobre-énfasis en el pensamiento con el lado izquierdo del cerebro. Ellos sugieren que se debe adoptar un enfoque más balanceado del cerebro para permitir a la creatividad fluir al corazón de seis sigma. En un sentido similar, Goh (2002), cuestiona la aplicabilidad de seis sigma para la creatividad y para problemas no estructurados. El autor recomienda

su evolución para abordar también esta vasta área. En general se observa en la literatura que se sugiere el uso de técnicas para mejorar la creatividad como lo son la teoría de invención para la solución de problemas TRIZ (Smith & Phadke, 2005) y (De Feo J. , 2002); el diseño axiomático (Smith L. , 2001) entre otras técnicas.

Otras herramientas y técnicas han sido tomadas de otros programas y disciplinas como son la simulación de eventos discretos de la investigación de operaciones, poka yokes de lean manufacturing (Hoerl R. , 2004) entre otras. Esta evolución incluye entonces la integración de enfoques complementarios de seis sigma y manufactura esbelta (Lean Manufacturing), que se conoce como Lean-Sigma. Después de Lean-Sigma, Basu (2004) argumenta que el siguiente nivel es Fit-Sigma, el cual según el autor permite una aptitud sostenible, donde el control de la variación de la media en un procesos seis sigma es transformado a toda la compañía. Estos hallazgos denotan una búsqueda de las mejores prácticas entre las diferentes disciplinas, un nivel de maduración y la necesidad de los usuarios para resolver problemas independientemente de la herramienta o técnica a usar.

En este contexto, las organizaciones necesitan aprender y adaptarse continuamente a las últimas tendencias y técnicas que están afuera del dominio de seis sigma, y que pueden ser útiles para complementar el enfoque seis sigma (Kwak & Anbari, 2006). Diagrama de caja, 5 ¿por qué?, matriz Pugh, minería de datos, matriz de relaciones y pruebas no paramétricas fueron algunas de las HyT menos reportadas en la literatura, sin embargo, se sugiere tomarlas en consideración a la hora de elegir alguna en una implementación futura. No obstante Hoerl (2004) aconseja que la adición de herramientas a un proyecto seis sigma, debe ser selectivo de tal manera de no frenar su desarrollo.

Respecto al entrenamiento, el currículo del programa de cintas de seis sigma, debe reflejar las necesidades y requerimientos de la organización. Debe ser adecuado para incorporar beneficios tanto económicos como administrativos. El entrenamiento debe cubrir además prácticas y habilidades de mediciones y métricos tanto cualitativas como cuantitativas, de liderazgo y manejo de proyectos (Kwak & Anbari, 2006). Por ejemplo, los cursos de entrenamiento de seis sigma en la empresa General Electric son exhaustivos y cubren habilidades de liderazgo de equipo, herramientas analíticas y de medición, herramientas de mejora, habilidades de planeación e implementación (Yang C. , 2004). Si hay una adecuada aplicación de la metodología seis sigma y si está presente el soporte del equipo seis sigma, así como del Staff, se puede alcanzar un impacto positivo sobre la calidad y otras características críticas para la satisfacción del cliente Valles et al. (2009).

Desde 1999, Snee ha sugerido seguir investigando para ayudar a los usuarios de seis sigma a identificar un juego robusto de herramientas esenciales para ser usadas en conjunto con las fases DMAIC. Para Brady y Allen (2006), los usuarios de seis sigma han aprendido sólo los métodos estándares, por lo tanto constituyen un grupo potencial para investigación y quizá nuevos métodos, estos participantes son relativamente prácticos y orientados a resultados económicos, necesitan técnicas para predecir los impactos financieros de los proyectos antes de comenzarlos y aplican técnicas estadísticas sin ser expertos, comentan.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos, se presentan las siguientes conclusiones:

Modelo propuesto

- La visión directiva es el detonador de un buen proyecto seis sigma, comienza con el involucramiento y compromiso de la alta dirección, lo cual fomenta una correcta selección de proyecto y proporciona los medios para un adecuado nivel de educación y entrenamiento de los miembros del equipo.
- La visión directiva cuando es adecuada, propicia que se tenga una estrategia de implementación de los proyectos seis sigma, lo cual implica que estén enfocados a objetivos estratégicos de la organización, que se tenga una estrategia definida de seguimiento y control de proyectos, así como un adecuado liderazgo que empuje el avance del proyecto.
- Cuando se tiene una estrategia de implementación adecuada, se impulsa un equipo colaborativo de seis sigma. Esto es caracterizado por que los miembros conocen y entienden a plenitud la metodología, técnicas y herramientas de seis sigma; pero además por la comunicación efectiva del equipo y por ende un involucramiento del equipo.
- Cuando se tiene una adecuada visión directiva que impulsa una estrategia de implementación de proyectos seis sigma acorde a la organización, entonces se estimula la formación de equipos colaborativos que a su vez tienen el potencial para lograr reducción de la variación, reducción de costos, aumentos de ganancias, mejora de la calidad y obtener tanto experiencia como autoestima. Es decir, se obtiene éxito al implementar seis sigma.

Éxito en seis sigma

- Para los usuarios de seis sigma en Baja California son cuatro dimensiones que caracterizan el éxito al implementar un proyecto seis sigma y son reducción de la variación, reducción de costos-aumento de ganancias, mejora de la calidad, y la obtención de experiencia y autoestima. En este sentido, la satisfacción del cliente, mayor seguridad, cumplimiento de objetivos entre otros, no representan lo que se entiende por éxito en seis sigma, aunque estos también se obtengan directa o indirectamente.
- Respecto a la literatura mundial, la cantidad de citas que los factores críticos de éxito o las herramientas y técnicas presentan por parte de académicos y usuarios de la metodología, es una referencia probada de ayuda para obtener éxito y de la importancia que significa para

ellos. Sin embargo, no significa que esos mismos factores probados a nivel internacional, tengan también en determinada región o país resultados similares, esto debido en gran medida a características culturales, de estilo de liderazgo, nivel de entrenamiento y educación, y experiencia de los usuarios de la metodología.

- El entendimiento de los FCE, obstáculos y experiencias acerca de seis sigma, proveen oportunidades para los usuarios, para poder apoyar mejor a sus respectivas organizaciones, al respecto es importante manifestar que no todos los FCE aplican de la misma manera para todas las organizaciones. Para alguna de ellas, cierto FCE puede resultar mejor que otro, y en otra organización todo lo contrario, es por eso que parece razonable tomarlos en cuenta en futuras aplicaciones.

Factores Críticos de Éxito

- Los factores que intervienen en la implementación exitosa de seis sigma en empresas de Baja California son: *liderazgo, involucramiento de la dirección, comunicación del equipo, seguimiento de proyecto, selección del proyecto, educación y entrenamiento, involucramiento del equipo, entendimiento de la metodología, así como enfoque en objetivos.*
- Los factores importantes en Baja California son en gran parte consistentes con la literatura mundial, pero con diferencias particulares propias de la cultura empresarial del estado, por lo que la aplicación de proyectos seis sigma en el estado es particularmente diferente y se debe poner atención a estos factores.
- Al seleccionar un proyecto seis sigma, se recomienda desarrollar una estrategia para ponderar proyectos en cuanto a su posible aportación, de tal forma que una organización puede priorizar entre: la reducción de variación, reducción de costo, aumento de ganancias, mejora de la calidad, obtener experiencia y autoestima, cumplimiento de objetivos organizacionales y otros.
- Cuando se empieza con seis sigma en una organización, se recomienda escoger un proyecto que pueda concluirse en un periodo corto de tiempo, por ejemplo 3 meses, ya que al ser el primero, es importante crear un precedente rápido que motive al personal a hacer más. Proyectos muy largos en tiempo puede desanimar al personal al no ver resultados pronto.
- El involucramiento de la alta dirección es vital para seis sigma, una forma de que se mantenga y consolide éste, es fomentar la capacitación de la alta dirección en seis sigma, de tal forma que se pueda percibir directamente la metodología, herramientas y técnicas, complicaciones, necesidad de recursos y necesidad de capacitación adicional. De esta manera el compromiso de la alta dirección puede seguir incrementándose.
- Se recomienda utilizar a los proyectos seis sigma como una manera de cubrir los objetivos estratégicos de la organización, esto se puede lograr si sólo se seleccionan aquellos proyectos

que impacten directamente a ellos. En este sentido debe haber una clara política de enfoque en objetivos estratégicos impulsada por la alta dirección.

- Los proyectos seis sigma son realizados en la medida del nivel de educación y entrenamiento que se tenga en la metodología, las herramientas y técnicas que la componen. En este sentido se recomienda ampliamente considerar un nivel de formación de personal que permita un análisis y mejora al nivel que se desea; si se invierte lo suficiente en educación y entrenamiento, se puede tener proyectos con resultados bastantes positivos.
- Otra subsecuente recomendación es verificar el entendimiento de la metodología, las técnicas y herramientas que la componen. En ese sentido la certificación del personal puede ayudar, ya que un ente externo comprobaría las habilidades, conocimiento y actitudes del personal, lo que puede ayudar a sacar un proyecto de manera exitosa.
- Respecto al seguimiento de proyectos seis sigma, se recomienda generar un protocolo para llevar un seguimiento puntual, ya sea por periodo de tiempo o por cumplimiento de objetivos, de tal forma que se pueda evaluar el avance y con esto poder tomar decisiones a tiempo, dar retroalimentación, hacer modificaciones entre otras consideraciones. Las reuniones diarias o reuniones tipo "tool box" son una buena opción.
- El liderazgo de la alta dirección y de los miembros es clave en el avance del proyecto seis sigma. Un líder es un buen gestor, al respecto se recomienda fuertemente dar capacitación y entrenamiento sobre estrategias de liderazgo previo a la conformación del equipo, de tal forma que se cubran los roles y liderazgos necesarios de una manera sistemática, esto en el entendido cuando se requiera. Adicionalmente el ejemplo y liderazgo de la alta dirección debe impulsar al resto del equipo.
- Para el involucramiento del equipo es fundamental la integración correcta de equipos. Aquí se recomienda contar con una estrategia de selección de personal a conformar equipos de trabajo, los cuales son normalmente interdisciplinarios, pero que implique una revisión de compatibilidad de personalidades, habilidades y conocimiento.
- Para fomentar la comunicación del equipo se recomienda la implementación de reuniones diarias con los miembros del equipo, una clara definición de los roles y actividades que no deje lugar a dudas de los entregables de cada persona con lo que se puede lograr armonía laboral y comunicación efectiva. Adicionalmente propiciar comunicación con medios electrónicos y tecnologías de información en la medida que el personal lo vea positivo.

Herramientas y técnicas

- En este trabajo, las herramientas y técnicas más reportadas en los últimos años son: *diagrama causa y efecto, diseño de experimentos, AMEF, diagrama Pareto, control estadístico de proceso, mapa de proceso, capacidad de procesos, prueba de hipótesis, brainstorming, y diagrama sipoc, diagrama de flujo, Anova y análisis de regresión.*
- Es imperativo resaltar que el uso correcto de herramientas y técnicas, más las consideraciones adecuadas a los factores críticos de éxito, pueden incrementar las oportunidades de obtener beneficios al implementar seis sigma, permitiendo a las organizaciones un mejor soporte a sus decisiones estratégicas, así como de entrenamiento, *coaching* y dirección.

5.2 RECOMENDACIONES

Con la finalidad de que este trabajo pueda ser replicado, se presentan las siguientes recomendaciones:

Los artículos científicos consultados en este trabajo para la obtención de datos son principalmente en inglés, al ser considerado este el idioma como universal para cuestiones técnicas. Sin embargo también se consideran en español. Al respecto se sugiere utilizar las tecnologías de traducción disponibles en buscadores de internet, para abarcar más literatura inclusive en otros idiomas.

Al momento de clasificar los artículos científicos, es recomendable desarrollar una base de datos acerca de los hallazgos de la literatura, así como de la información genérica del trabajo, esto con fines de facilitar la documentación y clasificación.

Al recibir información de usuarios de seis sigma a través del instrumento de acopio, es importante retroalimentar a estos usuarios con los hallazgos encontrados en el estudio, esto para fomentar la cooperación e intercambio de información.

Para la búsqueda de experiencias de usuarios de seis sigma, se recomienda además incluir plataformas de comunicación y contacto profesional como las redes sociales, blogs, páginas de asociaciones, consultorías, centros de capacitación, universidades entre otros, donde los usuarios pueden ser ubicados con mayor facilidad.

Es deseable obtener más respuestas válidas de cuestionarios enviados, por lo que se recomienda además de utilizar medios electrónicos para facilitar el llenado del mismo, el uso de cuestionarios en formato físico convencional, con lo que se abarcaría posiblemente más población, al no ser una limitante el acceso a internet.

Para la clasificación de los factores críticos de éxito más utilizados por usuarios, se recomienda que al evaluar su uso, se utilice una cantidad mayor de ellos a mostrarse a los usuarios, ya que es probable que pueda resaltar uno factor que en la literatura no fue muy utilizado. En el mismo sentido se recomienda para el caso de las herramientas y técnicas de seis sigma.

Al realizar la modelación de ecuaciones estructurales, se sugiere utilizar además del software Amos, otro u otros que también puedan realizar estos cálculos como son Lisrel, EQS, Stata, MPlus entre otros. Esto con la finalidad de poder comparar resultados obtenidos.

5.2.1 Trabajo Futuro

Como toda investigación, el presente trabajo aborda área de oportunidad para seguir aportando nuevo conocimiento a la ciencia, en especial a la ingeniería industrial. Como trabajos futuros a realizar se tiene:

La determinación de los factores críticos, herramientas y su relación que incrementan las posibilidades de éxito en empresas de México.

La determinación de los factores críticos, herramientas y su relación que incrementan las posibilidades de éxito en empresas de América latina.

Análisis de aspectos culturales que influyen en los proyectos seis sigma en latinoamérica.

Lista de abreviaciones

AMEF.- Análisis del modo y efecto de falla.

Anova.- Análisis de varianza (*Analysis of variance*).

CTQ.- Crítico para la calidad (*critical to quality*).

DOE.- Diseño de experimentos (*Design of experiment*).

FCE.- Factores críticos de éxito.

HyT.- Herramientas y técnicas.

MSA.- Análisis al sistema de medición (*Measure system analysis*)

QFD.- Despliegue de la función de calidad (*Quality function deployment*)

RyR.- Repetibilidad y reproducibilidad.

SIPOC.- diagrama que describe a los proveedores, las entradas, el proceso, salidas y al cliente (*Supplier Input Process Output Customer*).

SPC.- Control estadístico de procesos (*Statistical control process*)

SS.- Seis sigma.

VSM.- Mapeo de cadena de valor (*Value stream map*).

TRIZ.- teoría de invención para la solución de problemas

B.C.- Baja California.

DFSS.- Diseño para seis sigma (*Design for six sigma*).

DMAIC.- Definir medir analizar mejorar y controla (*Define, measure, analyze, improve and control*).

AIC. Criterio de información de Akaike (*Akaike information criterion*)

IAC. Índice alfa de Cronbach.

MA.- Meta-análisis.

MEE.- Modelación de ecuaciones estructurales

6 REFERENCIAS

- Adam, S. (2008). Design process improvement through the DMAIC Six Sigma approach: a case study from the Middle East. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage* , 35-47.
- Aghili, S. (2009). A Six Sigma Approach to Internal Audits . *Strategic Finance* , 38-43.
- Ahire, S., Landeros, R., & Golhar, D. (1995). Total Quality Management: A Literature Review and an Agenda for future research. *Production and Operations Management* , 277-307.
- Akaike, H. (1987). Factor Analysis and AIC. *Psychometrika* , 317-332.
- Al-Aomar, R., & Youssef, M. (2006). Achieving six sigma rating in a system simulation model. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 190-206.
- Alderson, P., Green, S., & Higgins, J. (2004). *Cochrane Reviewers' Handbook 4.2.2*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, LTD.
- American Society for Quality. (Agosto de 2004). *ASQ organization*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2011, de <http://asq.org/sixsigma/blurry-six-sigma-vision.pdf>
- American Society for Quality. (1996). *Glossary and Tables for Statistical Quality Control*. Milwaukee: Quality Press.
- Anand, G., Ward, P., & Tatikonda, M. (2009). Role of Explicit and Tacit Knowledge in Six Sigma Projects: An Empirical Examination of Differential Project Success. *Journal of Operations Management* .
- Anawis, M. (2010). Six Sigma and the PC World. *ScientificComputing* , 22-24.
- Anbari, F. (2002). Six sigma method and its applications in project management. *Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars and Symposium*. San Antonio Texas: Project Management Institute.
- Anderson, J., Rungtusanatham, M., Schroeder, R., & Devaraj, S. (1995). A path analytic model of theory of quality management underlying the Deming management method. *Decision Science* , 637-658.
- Antony, J. (2004). Some pros and cons of six sigma: an academic perspective. *The TQM Magazine* , 303-306.
- Antony, J. (2008). What is the Role of Academic Institutions for the Future Development of Six Sigma? *International Journal of Productivity and Performance Management* , 107-110.

Antony, J., & Bañuelas, R. (2002). Key Ingredients for the Effective Implementation of Six Sigma Program. *Measuring Business Excellence* , 20-27.

Antony, J., & Desai, D. A. (2009). Assessing the Status of Six Sigma Implementation in the Indian Industry Results From an Exploratory Empirical Study. *Management Research News* , 413-423.

Antony, J., Antony, F. J., Kumar, M., & Rae, B. (2007). Six Sigma in Service Organisations Benefits, Challenges and Difficulties, Common Myths, Empirical Observations and Success Factors. *International Journal of Quality & Reliability Management* , 294-311.

Antony, J., Kumar, M., & Labib, A. (2008). Gearing Six Sigma into UK Manufacturing SMEs: Results From a Pilot Study. *Journal of the Operational Research Society* , 482 -493.

Antony, J., Kumar, M., & Tiwari, M. (2005). An Application of Six Sigma Methodology to Reduce the Engine-Overheating Problem in an Automotive Company. *Engineering Manufacture* , 633-646.

Aragón, J., Senise, M., & Matías, F. (1998). ESTRATEGIA, ESTRUCTURA ORGANIZATIVA y DESEMPEÑO MEDIOAMBIENTAL: REPERCUSIONES DEL AJUSTE. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa* , 41-56.

Arenas, A. (2003). *Metodologia de la Investigacion*. Cholula, Puebla.

Avery, S. (2001). Linking supply chains saves Raytheon \$400 million. *Purchasing* , 27-34.

Áviles, S. (1995). Metanálisis si, metanálisis no. *Jornada científica CNICM* .

Bandalos, D. (1993). Factors influencing the cross-validation of confirmatory factor analysis models. *Multivariate behavioral research* , 351-374.

Bañuelas, R., & Antony, J. (2002). Critical Success Factors for the Successful Implementation of Six Sigma Projects in Organization. *The TQM Magazine* , 92-99.

Bañuelas, R., & Antony, J. (2003). Going from six sigma to design for six sigma: an exploratory study using analytic hierarchy process. *The TQM Magazine* , 334-344.

Bañuelas, R., & Antony, J. (2004). Six sigma or Design for Six Sigma? *The TQM Magazine* , 250-263.

Bañuelas, R., Antony, J., & Brace, M. (2005). An application of Six Sigma to reduce waste. *Quality and Reliability Engineering International* , 553-570.

Bañuelas, R., Johnson, M., Virakul, T., & Antony, J. (2009). Assessing the Role of Six Sigma in a Supply chain: an Exploratory Study in the UK Manufacturing Organisations. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 380-397.

- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management* , 99-120.
- Barrada, C. A. (2003). Qué es en realidad seis sigma? *Gestión de Negocios* , 1-10.
- Basu, R. (2004). Six-Sigma to Operational Excellence: Role of Tools and Techniques. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 44-64.
- Basu, R., & Nevan, J. (2003). *Quality Beyond Six Sigma*. El sevier.
- Bendell, T. (2004). Managing Engineering Improvement by Six Sigma. *International Engineering Management Conference*, (págs. 1114-1116).
- Benson, J., & El-Zahhar, N. (1994). Further refinement and validation of the revised test anxiety scale. *Structural equation modeling* , 203-221.
- Benson, J., Moulin-Julian, M., Schwarzer, C., Seipp, B., & El-Zahhar, N. (1992). Cross-validation of a revised test anxiety scale using multi-national samples. En K. Hagtvet, *Advances in test anxiety research* (págs. 62-83). Lisse, Holanda: Swets y Zeitlinger.
- Bentler, P. (1988). Causal modeling via structural equation systems. *International journal of research* .
- Bentler, P., & Bonett, D. (1980). Significance test and goodness of fit in the analysis of covariances structures. *Psychological Bulletin* , 588-606.
- Black, K., & Robert, M. (2006). Essentials characteristics of six sigma black belt candidates: a study of US companies. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 301-312.
- Bollen, K., & Curran, P. (2006). *Latent Curve Models. A structural equation perspective*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Bollen, K., & Long, S. (1993). Introduction. En K. Bollen, & S. Long, *Testing Structural Equation Models* (págs. 1-9). Newbury Park, California: Sage Publications.
- Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J., & Rothstein, H. (2009). *Introduction to Meta-Analysis*. Wiltshire: Wiley.
- Bowen, N., & Guo, S. (2012). *Structural Equation Modeling*. New York, NY.: Oxford University Press.
- Box, G. E., Hunter, W. G., & Hunter, J. S. (1978). *Statistics for Experimenters, An introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. John Wiley and Sons.
- Brady, J. E., & Allen, T. T. (2006). Six Sigma Literature: A Review and Agenda for future research. *Quality and Reliability Engineering International* , 335-367.

- Breyfogle, F. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. New York: Wiley.
- Briones, G. (1996). Metodología de la investigación Constructos Variables e Hipotesis. *UNIMINUTO. INVESTIGACIÓN. COMUNICACIÓN GRÁFICA* , 1-3.
- Browne, M., & Cudek, R. (1989). Single sample cross-validation indices for covariances structures. *Multivariate behavioral research* , 445-455.
- Brussee, W. (2004). *Statistics for six sigma made easy*. New York: McGraw Hill.
- Bryers, L. (1987). *Strategic Management*. New York: Harper and Row.
- Buen Día, L. C. (1998). *Metodos de Investigacion en Psicopedagogia*. Mcgraw-Hill.
- Bunce, M., Wang, L., & Bidanda, B. (2008). Leveraging Six Sigma with industrial engineering tools in crateless retort production. *International journalr of production research* , 6701-6719.
- Burge, R. (2008). Reducing resistance to six sigma projects. *Industrial Engineer* , 35-39.
- Burgess, G. (2009). Continuous improvement. *Industry week* , 36-37.
- Burnes, B. (1992). *Managing Change: A Strategic Approach to Organisational Development and Renewal*. London: Pitman Publishing.
- Byrne, B. (2010). *Structural Equation Modeling with AMOS*. New York, NY: Routledge.
- Byrne, G. (2003). Ensuring optimal success with six sigma implementations. *Journal of Organizacional Excellence* , 43-50.
- Caleb, M.-H., & Al-Refaie, A. (2008). Improving wooden part's quality by adopting DMAIC procedure. *Quality and Reliability Engineering International* , 351-360.
- Carnell, M. (2003). Gathering customer feedback. *Quality progress* , 60-61.
- Castellanos, R. (29 de July de 2008). *Pensamiento, Herramientas y acción del estratega*. Obtenido de Eumed: www.eumed.net/libros/2008a/345/
- Catherwood, P. (2002). What's different about Six Sigma. *Manufacturing Engineer* , 186-189.
- Caulcutt, R. (2004). Black Belt types. *Quality and Reliability Engineering International* , 427-432.
- Céspedes, A. (1995). *Meta-Análisis*. La Habana: Instituto Superior de Medicina Militar "Dr. Luis Díaz Soto".

- Chakrabarty, A., & Tan, K. (2007). A survey of Six Sigma Implementation in Singapore Service Industries. *Proceedings of the 2007 IEEE IEEM* (págs. 1428-1432). Singapore: IEEE.
- Chakrabarty, T., & Tan, K. (2007). The current state of six sigma application in service. *Managing service quality* , 194-208.
- Chan, K., & Spedding, T. (2001). On-line optimization of quality in a manufacturing system. *International Journal of Production Research* , 1127–1146.
- Chandler, A. (1962). *Strategy and structure: Chapters in the history of American enterprise*. Cambridge: M.I.T. Press.
- Chua, R. (2001). What you need to know about six sigma. *Productivity digest* .
- Cohen, L., & Malion, L. (1990). *Metodos de Investigacion Educativa*. Madrid España: La Muralla.
- Cooke-Davis, T. (2002). The real success factors on projects. *International Journal of Project Management* , 185-190.
- Cooley, W. (1978). Explanatory observational studies. *Educational researcher* , 9-15.
- Cooper, N. (2003). Do teams and six sigma go together? *Quality progress* , 25-30.
- Cortina, J. M. (1997). Que es el Coeficiente de Cronbach? una Examinacion de Teorias y Aplicaciones. *Journal of Applied Psychology* , 98-104.
- Cozby, P. C. (2005). *Metodos de Investigacion del Comportamiento*. McGraw-Hill.
- Crago, M. (2000). Patient safety, six sigma & ISO 9000 quality management. *Quality Digest* .
- Crom, S. (2000). Implementing Six Sigma in Europe: a cross-cultural perspective. *Quality Progress* , 73-75.
- Cronbach, L. J. (1951). *Coefficient alpha and the internal structure of tests*.
- Cronbach, L. (1971). Test Validation. En R. Thorndike, *Educational Measurement* (págs. 443-507). Washington, D.C.: American Council on Education.
- Curkovic, S., Melnyk, S., & Calantone, R. (2000). Validating the Malcom Baldrige National Quality Award Framework through SEM. *International journal of production research* , 765-791.
- Curran, P., West, S., & Finch, J. (1997). The robustness of test statistics to nonnormality and specification error in confirmatory factor analysis. *Psychological methods* , 16-29.

- Dale, B. (2006). *An empirical investigation of factors promoting knowledge management system success*. Texas Tech University.
- Dale, B., & McQuater, R. (1998). *Managing business improvement and quality*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Dasgupta, T. (2003). Using the six sigma metric to measure and improve the performance of a supply chain. *Total quality management and business excellence* , 355-366.
- De Feo, J. (2002). Creating strategic change more efficiently with a new Design For Six Sigma Process. *Journal of Change Management* , 60-81.
- De Feo, J. (2002). Creating strategic change more efficiently with a new Design For Six Sigma Process. *J. of Change Management* , 60-81.
- De Feo, R., & Barnard, W. (2004). *Juran Institute's Six-Sigma Breakthrough and Beyond Quality Performance Breakthrough Methods*. New York: McGraw-Hill.
- De Vore, K. (2008). A Six Sigma approach to stability testing. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* , 413-421.
- DeCoster, J. (2004). *Meta-analysis notes*. Tuscaloosa, Al.: The University of Alabama.
- Deninson, D., & Spreitzer, G. (1991). Organizational culture and organizational development. *Research in Organizational Change and Development* , 1-22.
- Deshmukh, S., & Lakhe, R. (2009). An Innovative Model of Six Sigma for SMEs: the T-DMAIC Model. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 187-203.
- Detert, J., Schroeder, R., & Muriel, J. (2000). A framework for linking culture and improvement initiatives in organizations. *Academy of Management Review* , 850-863.
- Devellis, R. F. (2005). *Scale Development Theory and Applications*. Sage Publications.
- Diario Oficial de la Federación. (30 de junio de 2009). Diario Oficial de la Federación. Distrito Federal, México, México.
- Dirgo, R. (2005). *Look forward: beyond lean and six sigma*. Boca Raton, Fl.: J. Ross Publishing.
- Doble, M. (2005). Six sigma and chemical process safety. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 229-244.
- Eckes, G. (2001). *Making six sigma last*. New York: John Wiley and sons.
- Eckes, G. (2003). *Six sigma for everyone*. Hoboken, New Jersey: Grupo editorial Norma.

Eckes, G. (2000). *The six sigma revolution*. New York: John Wiley and Sons.

Ehie, I., & Sheu, C. (2005). Integrating Six Sigma and Theory Of Constraints for continuous. *Journal of Manufacturing Technology Management* , 542-553.

Eisenberger, R., R., H., S., H., & Sowa, D. (1986). Perceived organizational support. *Journal of applied psychology* , 500-507.

Fan, X., & Wang, L. (1998). Effects of potential confounding factors on fit indices and parameter estimates for true and misspecified models. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal* , 701-735.

Fermín Gómez Fraile, J. F. (2006). *Seis Sigma*. Fc Ediciones.

Fernandez, V. (2004). *Relaciones encontradas entre las dimensiones de las estructuras organizativas y los componentes del constructo "capacidad de absorción": El caso de las empresas ubicadas en el territorio español*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Flynn, B., Schroeder, R., & Sakakibara, S. (1995). The impact of quality management practices on performance and competitive advantage. *Decision Sciences* , 659-692.

Frings, G., & Grant, L. (2005). Who moved my sigma...effective implementation of the six sigma methodology to hospitals. *Quality Engineering International* , 311-328.

Fundin, A., & Cronemyr, P. (2003). Use customer feedback to choose six sigma projects. *ASQ six sigma forum magazine* , 17-21.

Gadea, A. (2005). *Factores que facilitan el éxito y la continuidad de los equipo de mejora de las empresas industriales*. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Barcelona: UPC.

Gamero, N. (2008). *El clima afectivo en equipos de trabajo: antecedentes y consecuencias*. Valencia: Universitat de València.

George, M., Rowlands, D., & Kastle, B. (2004). *Waht is lean six sigma?* New York: McGraw-Hill.

Gibbons, P. M. (2006). Improving overall equipment efficiency using a Lean Six Sigma approach. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 207-232.

Gillett, J., Fink, R., & Bevington, N. (2010). How Caterpillar uses 6 sigma to execute strategy. *Strategic Finance* , 26-28.

Ginny, F., & Grant, L. (2005). Who moved my sigma...effective implementation of the six sigma methodology to hospitals. *Quality and Reliability engineering International* , 311-328.

- Glass, E. (1976). *Primary, secondary and Meta-analysis of research*. Educational Researcher.
- Goh, T. (2002). A strategic assessment of six sigma. *Quality and reliability engineering* , 403-410.
- Goh, T. N. (2002). The Role of Statistical Design of Experiments in Six Sigma: Perspectives of a Practitioner. *Quality Engineering* , 659–671.
- Goh, T., Tang, L.-C., & Lam, S.-W. (2006). Six Sigma: a SWOT analysis. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 233-242.
- Goldstein, M. (2001). Six Sigma Program Success Factors. *Six SigmaForum Magazine* , 36-45.
- González, C. (2005). La metodología six sigma. En A. M. Equipo, *Trabajo en equipo, el caso mexicano* (págs. 69-80). Ciudad de México: Panorama.
- Gordon, M. (2002). *Six sigma quality for business and manufacture*. Amsterdam: Elsevier.
- Gowen, C. (2002). How to Implement Six Sigma For Maximum Benefit. *Six sigma forum* , 27-31.
- Gray, J., & Anantatmula, V. (2009). Managing six sigma projects through the integration of six sigma project management process. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 127-143.
- Green, F. (2006). Six Sigma and the green belt perspective: a study in five companies. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 291-300.
- Green, F., Barbee, J., Cox, S., & Rowlett, C. (2006). Green belt six sigma at a small company. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 179-189.
- Guidon. (29 de Noviembre de 2011). *Industry News*. Recuperado el 30 de 11 de 2011, de Guidon Performance Solutions: <http://www.guidonps.com/industry-news/intel-to-incorporate-lean-six-sigma-into-financial-management-streamlining-efforts/>
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2004). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. . Ciudad de México: McGraw-Hill,.
- Hahn, G. J. (2005). Six Sigma: 20 Key Lessons Learned. *Quality and Reliability Engineering International* , 225-233.
- Hahn, G. J., Doganaksoy, N., & Stanard, C. (2001). Statistical tools for Six Sigma . *Quality Progress* , 78-82.
- Hahn, G., & Hoerl, R. (1998). Key Challenges for Statisticians in business and industry. *Quality Progress* , 195-200.

Hahn, G., Hill, W., Hoerl, R., & Zinkgraf, S. (1999). The Impact of Six Sigma Improvement, a Glimpse into the future of statistics. *The American Statistician* , 208-215.

Hammer, M. (2002). Process management and the future of Six Sigma. *MIT Sloan Management* , 122-132.

Hare, L. (2005). Linking statistical thinking to six sigma. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 389-402.

Harrington, D. (2009). *Confirmatory factor analysis*. New York: Oxford University Press.

Harrold, D. (1999). Designing for six sigma capability. *Control Engineering* .

Harry, M. (1998). A Breakthrough strategy for profitability. *Quality Progress* , 60-62.

Harry, M. (2000). Six sigma focyses on improvement rates. *Quality Progress* , 76-80.

Harry, M. (2000). Six Sigma leads enterprises to coordinate efforts. *Quality Progress* , 70-73.

Harry, M., & Schroeder, R. (1999). *Six sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations*. Reed Business Information.

Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metodologia de la Investigacion*. Mcgraw-Hill.

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (1997). *Metodologia de la Investigacion*. Mcgraw-Hill.

Heuvel, J., Does, R., & Vermaat, M. (2004). Six sigma in a Dutch hospital: does it work in the nursing departament? *Quality and Reliability Engineering International* , 419-426.

Hilton, R., Balla, M., & Sohal, A. S. (2008). Factors critical to the success of a Six-Sigma quality program in an Australian hospital. *Total Quality Management & Business Excellence* , 887-902.

Ho, S., Xie, M., & Goh, T. (2006). Adopting six sigma in higher education: some issues and challenges. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 335-352.

Ho, Y.-C., Chang, O.-C., & Wang, W.-B. (2008). An empirical study of key success factors for Six Sigma Green Belt projects at an Asian MRO company. *Journal of Air Transport Management* , 263-269.

Hoelter, J. W. (1983). The Analysis of Covariance Structures. *Sociological Methods & Research* , 325-344.

Hoerl, R. (2004). One perspective on the future of Six-Sigma. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage* , 112-119.

Hoerl, R. (2001). Six Sigma Black Belts: What Do They Need to Know? *Journal of Quality Technology* , 391-406.

Hoerl, R., Rodebaugh, W., & Snee, R. (2004). Six Sigma and statistical leadership. *Annual Quality Congress Proceedings* (págs. 385-389). Milwaukee: Annual Quality Congress Proceedings.

Hogan, T. (2004). *Pruebas Psicológicas*.

Hong, G., & Goh, T. (2004). A comparison of Six-Sigma and GQM approaches in software development. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 65-75.

Hox, J. L. (2003). Multilevel models for meta-analysis. En S. Reise, & N. Duan, *Multilevel modeling. Methodological advances, issues and applications* (págs. 90-111). Mahwah: Lawrence Erlbaum.

Hoyle, R. (1995). *Structural Equation Modeling: concepts, issues and applications*. Thousand Oaks, California: SAGE publications.

Hu, M., Bart, B., & Sears, R. (2005). Leveraging six sigma disciplines to drive improvement. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 121-133.

Hu, M., Bart, B., & Sears, R. (2005). Leveraging six sigma disciplines to drive improvement. *Int. J. of six sigma and competitive adv.* , 121-133.

Hwang, Y. (2006). The practices of integrating manufacturing execution system and six sigma methodology. *International Journal of advanced manufacturing technology* , 761-768.

INEGI. (2011). *Banco de información económica*. Distrito Federal: www.inegi.org.mx.

INEGI. (01 de enero de 2005). *Información estadística*. Recuperado el 11 de enero de 2012, de INEGI: www.cuentame.inegi.org.mx

Ingle, S., & Roe, W. (2001). Six Sigma Black Belt Implementation. *The TQM Magazine* , 273-280.

Iwaarden, J. V., Wiele, T. V., Dalez, B., Wolliams, R., & Bertsch, B. (2008). The Six Sigma Improvement Approach: a Transnational Comparison. *International Journal of Production Research* , 6739-6758.

J., B., & Bandalos, D. (1992). Second-order confirmatory factor analysis of the reactions to test's scale with cross-validation. *Multivariate behavioral research* , 459-487.

Johnson, A. (2002). Six sigma in R&D. *Research Technology Management* , 12-16.

Johnson, A., & Swisher, B. (2003). How six sigma improves R&D. *Research Technology Management* , 12-15.

- Johnson, J. A., Widener, S., Gitlow, H., & Popovic, E. (2006). A "Six Sigma" Black Belt Case Study: G.E.P. Box's Paper Helicopter. *Quality Engineering* , 413–430.
- Johnson, J., & Gitlow, H. (2006). Design New Housing at the University of Miami: A Six Sigma DMADV-DFSS Case Study. *Quality Engineering* , 299-323.
- Jones, E. C., Mellat, M., & Adams, S. G. (2010). A Framework for Effective Six Sigma Implementation. *Total Quality Management* , 415-424.
- Jöreskog, K. (1993). Testing structural equation models. En K. Bolle, & S. Long, *Testing Structural Equation Models* (págs. 294-316). Newbury Park, California: Sage.
- Jöreskog, K., & Sörbom, D. (1993). *Lisrel 8: Structural equation modeling with the Simplis command language*. Chicago: Scientific Software International.
- Joseph C. Chen, Y. L. (2008). Taguchi-based Six Sigma approach to optimize plasma cutting process: an industrial case study . *Int J Adv Manuf Technol* , 760–769.
- Juran, I. (2008). *manual de Black Belt*. six sigma world best.
- Kanani, Y. (2006). Study and Analysis of Control Phase Role for Increasing the success of Six Sigma Projects. *International Conference on Management of Innovation and Technology* (pp. 826-829). IEEE.
- Kanji, G. (2008). Reality check of Six Sigma for Business Excellence. *Total quality management* , 575-582.
- Kaplan, D. (2009). *Structural Equation Modeling, foundations and extensions*. Thousand Oaks, California: SAGE publications.
- Kaplan, R., & Norton, D. (1992). The balanced scorecard, mesures that drive performance. *Harvard Business Review* , 71.
- Kapur, K., & Feng, Q. (2005). Integrated optimisation models and strategies for the improvement of the six sigma process. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 210-228.
- Katzenbach, J., & Smith, D. (1993). The dicipline of teams. *Harvard Business Review* .
- Kaushik, P., Grewal, C., Bilga, P., & Khanduja, D. (2008). Utilising Six Sigma for energy conservation: a process industry case study. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage* , 18-34.
- Kaynak, H. (2003). The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance. *Journal of operations management* , 1-31.
- Kerlinger, F. (1975). *Investigacion del Comportamiento: Tecnicas y Metodologia*.

Klefsjö, B., Bergquist, B., & Edgeman, R. (2006). Six Sigma and Total Quality Management: different. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 162-178.

Kleinbaum, D., Kupper, L., Nizam, & Muller, K. (2008). *Applied regression analysis and other multivariable methods*. Belmont, California.: Thomson.

Kline, R. (2005). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: The Guilford Press.

Kline, R. (2011). *Principles and practices of Structural Equation Modeling*. New York: The Guilford Press.

Koning, H., & Mast, J. (2005). Grounding of six sigma's breakthrough cookbook to research a methodology? *International journal of six sigma and competitive advantage* , 263-275.

Kovach, J., & Cho, B. (2006). A D-optimal approach to robust design under constraints: a new design for six sigma tool. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 389-403.

Kubiak, T. (2003). An integrated approach system. *Quality Progress* , 41-45.

Kuei, C., & Madu, C. (2003). Customer-centric Six Sigma quality and reliability management. *The International Journal of Quality and Reliability Management* , 954-964.

Kumar, M. (2007). Critical success factors and hurdles to Six Sigma implementation: the case of a UK manufacturing SME. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 333-351.

Kumar, M., & Antony, J. (2008). Comparing the Quality Management Practices in UK SMEs. *Industrial Management & Data Systems* , 1153-1166.

Kumar, M., & Antony, J. (2009). Multiple Case-Study Analysis of Quality Management Practices Within UK Six Sigma and Non-Six Sigma Manufacturing Small- and Medium-Sized Enterprises. *Engineering Manufacture* , 925-934.

Kumar, M., Antony, J., Antony, F. J., & Madu, C. N. (2006). Winning Customer Loyalty in an Automotive Company through Six Sigma: a Case Study. *Quality and Reliability Engineering International* , 849-866.

Kumar, M., Antony, J., Madu, C. N., Montgomery, D. C., & Park, S. H. (2008). Common Myths of Six Sigma Demystified. *International Journal of Quality & Reliability Management* , 878-895.

Kumar, S., & Michael, S. (2008). International Journal of Productivity and Performance Management. *REFLECTIVE PRACTICE Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs* , 254-273.

Kumar, S., Wolfe, A. D., & Wolfe, K. A. (2008). Using Six Sigma DMAIC to Improve Credit initiation Process in a Financial Services Operation. *International Journal of Productivity and Performance Management* , 659-676.

Kwak, Y., & Anbari, F. (2006). Benefits, Obstacles, and Future of Six Sigma Approach. *Technovation* , 708-715.

Ladani, L., Das, D., Cartwright, J., Yenker, R., & Razmi, J. (2006). Implementation of six sigma quality system in Celestica with practical examples. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 69-88.

Larson, A. (2003). *Demystifying Six Sigma: A company wide approach to process improvement*. New York: American Management Association.

Lazarus, R., & Stamps, B. (202). The promise of six sigma. *Managed Healthcare Executive* , 27-30.

Lee, H., & Choi, B. (2003). Knowledge Management Enablers, Processes, and Organizational Performance: An Integrative View and Empirical Examination. *Journal of Management Information Systems* , 179-228.

Lee, K. (2002). *Success Factors of Six Sigma Implementation and the Impact on Operations Performance*. Cleveland: Cleveland State University.

Lei, M., & Lomax, R. (2005). The effect of varying degrees of nonnormality in structural equation modeling. *Structural equation modeling: a multidisciplinary journal* , 1-27.

Lin, L.-C., Li, T.-S., & Kiang, J. (2008). A continual improvement framework with integration of CMMI and Six Sigma model por auto undustry. *Quality and reliability engineering international* , 551-569.

Linderman, K., Schroeder, R., Zaheer, S., & Choo, A. (2003). Six Sigma: A Goal-Theoretic Perspective. *Journal of Operations Management* , 193-203.

Lipsey, M., & Wilson, D. (2001). *Practical Meta-analysis*. London: Sage Publications.

Lomax, R. (1989). *Covariance structure analysis: Extensions and developments*. Greenwich: Thompson.

López, G. (2001). *Metodología Six Sigma: Calidad Industrial*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2010, de neoediciones JP&A: <http://www.mercadeo.com/archivos/six-sigma.pdf>

Lyon, L. (2002). Meta-analysis: Method of Accumulating Results Across Research Domains. 1-17.

Ma, H. (1999). Creation and preemption for competitive advantage. *Management Decision* , 256-266.

Mahanti, R., & Antony, J. (2009). Six Sigma in the Indian software industry: some observation and results from a pilot survey. *The TQM Journal* , 549-564.

Malhotra, N. K. (1997). *Investigacion de Mercados. Un Enfoque Practico*. Mexico D.F: Prentice-Hall Hispanoamerica.

- Manso, M. E., Cruz-Lemus, J., Genero, M., & Piattini, M. (2008). *Uso de meta-análisis para integrar resultados experimentales*. Valladolid: Acta de taller de jornadas de ingeniería del software y bases de datos.
- McAdam, R., & Evans, A. (2004). The Organisational Contextual Factors Affecting the Implementation of Six-Sigma in a High Technology Mass-Manufacturing Environment. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 29-43.
- McAdam, R., & Lafferty, B. (2004). A multilevel case study critique of six sigma; statistical control or strategic change? *International journal of operations and production management* , 530-549.
- McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P. (2005). *The Black belt handbook*. Schaumburg: McGraw-Hill.
- McManus. (2008). So long Six Sigma? *Industrial Engineer* , 18.
- McQuater, R., Dale, B., Wilcox, M., & Booden, R. (1994). The effectiveness of quality management techniques and tools in the continuous improvement process. *Proceedings of Factory 2000* (págs. 574-580). IEE.
- Mendoza, J. (2005). Seis sigmas: hacia la cumbre de la calidad. *Pensamiento y gestión* , 101-117.
- Miles, R., & Snow, C. (1978). *Organizational Strategy, Structure and Process*. New York: McGraw Hill.
- Mohammad, J. J., Shafieezadeh, M., & Ali, M. (2008). Using Knowledge Management in DMAIC Methodology of Six Sigma Projects. *Proceedings of the 2008 1st International Conference on Information Technology*,. Gdansk, Poland: IEEE.
- Mulaik, S. (2009). *Linear causal modeling with structural equations*. Boca Raton, Florida: Chapman and Hall.
- Mulrow, C. (2004). *Rationale for Systematic Reviews*. BMJ.
- Nabhani, F., & Shokri, A. (2009). Reducing the Delivery Lead Time in a Food Distribution SME Through the Implementation of Six Sigma Methodology. *Journal of Manufacturing Technology Management* , 957-974.
- Nakhai, B., & Neves, J. S. (2009). The Challenges of Six Sigma in Improving Service Quality. *International Journal of Quality & Reliability Management* , 663-684.
- Neuscheler-Fritsch, D., & Norris, R. (2001). Capturing financial benefits from Six Sigma. *Quality Progress* , 39-45.

- Nonthaleerak, P., & Hendry, L. (2008). Exploring the Six sigma Phenomenon Using Multiple Case Study Evidence. *International Journal of Operations & Production Management* , 279-303.
- Nonthaleerak, P., & Hendry, L. (2006). Six Sigma: literature review and key future research. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 105-161.
- Pande, P., & Holpp, L. (2002). *What is six sigma?* new york: Mc Graw Hill.
- Pande, P., Neuman, R., & Cavanagh, R. (2000). *The six sigma way: How GE, Motorola and other top companies are honing their performance*. New York: McGraw-Hill.
- Pantano, V., O’Kane, P., & K., S. (2006). Management of Innovation and Technology. *Cluster Based six sigma deployment in small and medium sized enterprises* , 788-792.
- Pearson, T. (2000). Six Sigma and the knowledge revolution. *Annual Quality Congress* (págs. 723-727). Milwaukee: Annual Quality Congress.
- Perry, L., & Barker, N. B. (2006). Six Sigma in the service sector: a focus on non-normal data. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 313-333.
- Pickrell, G., Lyons, H., & Shaver, J. (2005). Lean six sigma implementation case studies. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 369-379.
- Plecko, A., Vujica, H., & Polajnar, A. (2009). An application of six sigma in manufacturing company. *Advances in production engineering & management* , 243-254.
- Pollock, S. (2010). Bringing the personal touch to training and cultural change case study. *The journal for quality & participation* , 34-37.
- Porter, M. (1985). *Competitive advantage*. New York: The free press.
- Primitivo, R. A. (2002). Manufactura Delgada y Seis Sigma en empresas Mexicanas: Experiencias y Reflexiones. *Revista de Contaduría y Administración* , 51-69.
- Pyzdek, T. (2003). *Six Sigma Handbook Revised and Expanded*. New York: Mc Graw Hill.
- Pyzdek, T. (2004). Strategy deployment using balanced scorecards. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 21-28.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six sigma Project Planner*. Mc Graw Hill.
- Pyzdek, T. (2003). *The Six Sigma Handbook*. New York: Mc Graw Hill.
- Quero Virla, M. (2010). Confiabilidad y Coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos* , 248-252.

- R., S., & C., V. (2002). Quality Management re-visited: A Reflective Review and Agenda for future Research. *Journal of Operations Management* , 91-109.
- Rajamanoharan, I., & Collier, P. (2006). Six Sigma implementation, organisational change and the impact on performance measurement systems. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 48-68.
- Randall, S., Bennett, N., & Liden, R. (1996). Social exchange in organizations: perceived organizational support, leader-member exchange and employee reciprocity. *Journal of applied psychology* , 219-227.
- Rao, P., Bajpai, L., & Verma, P. (2009). Six Sigma and its implementation in medium/small sized organizations - a case study. *International Journal of Six Sigma and competitive advantage* , 325-339.
- Reed, M. (2000). Six sigma eavesdropping on the net! *Quality Australia* .
- Reise, S., & Naihua, D. (2003). *Multilevel Modeling, methodological advances, issues and applications* . Mahwah, Nj.: Lawrence Erlbaum Associates.
- ReVelle, J. (2004). Continuous improvement six sigma. *Professional safety* , 38-46.
- Reyes, P. (2002). Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas: experiencias y reflexiones. *Contaduría y Administración* , 51-69.
- Ricondo, I., & Viles, E. (2005). Six sigma and its link to TQM, BPR, lean and the learning organization. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 323-354.
- Rockart, J. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review* , 238-241.
- Rodriguez, A. (2008). *A frameork to align strategy, improvement performance and customer satisfaction using an integration of six sigma and balanced scorecard*. Orlando, Florida: University of Central Florida.
- Sacks, H., Berrier, J., Reitman, D., Ancona, V., & Thomas, C. (1987). Meta-analyses of randomized controlled trials. *The New England journal of medicine* , 450-455.
- Sadagopan, P., Devadasan, S., & Goyal, S. (2005). Three six sigma transitions and organizational preparedness exercise. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 134-150.
- Sanchez, B., Budtz, E., Ryan, L., & Hu, H. (2005). Structural Equation Models: A review with applications to environmental epidemiology. *Journal of the American Statistical Association* , 1443-1455.
- Sandholm, L., & Sorqvist, L. (2002). 12 Requirements for six sigma success. *Six sigma forum magazine* , 17-22.

Sarabia, F. (1999). *Metodología para la investigación en marketing y dirección de empresas*. Madrid: Ediciones Pirámide.

Sarkar, B. (2007). Capability Enhancement of a Metal Casting Process in a Small Steel Foundry Through Six Sigma: a Case Study. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 56-71.

Sarkar, B. (2007). Designing Sustainable Strategies for Continuous Improvement Deployment Programme: Lessons from a Steel plant in India. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 352-374.

Schön, K. (2006). Six sigma in a non-American culture. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 404-428.

Schumacker, R., & Lomax, R. (2010). *A beginners guide to Structural Equation Modeling*. New York: Routledge.

SEDECO. (2009). *Directorio de maquiladoras 2009*. Recuperado el 8 de enero de 2012, de Secretaría de Desarrollo Económico: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/sedeco/estadisticas/directorios/maquiladoras2009Ensenada.pdf>

Shahin, A. (2008). Companies, Design for Six Sigma (DFSS): Lessons Learned From World-Class. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage* , 48-59.

Sharma, U. (2003). Implementing Lean Principles With The Six Sigma Advantage: How a Battery Company Realized Significant Improvements . *JOURNAL OF ORGANIZATIONAL EXCELLENCE* , 43-52.

Shenawy, E., Baker, T., & Lemak, D. (2007). A Meta-analysis of the Effect of TQM on Competitive Advantage. *International Journal of Quality and Reliability Management* , 442-471.

Shenhar, A., Levy, O., & Dvir, D. (1997). Mapping the dimensions of project success. *Project Management Journal* , 5-13.

Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering viewpoint*. Portland: Productivity Inc.

Skrondal, A., & Rabe-Hesketh, S. (2004). *Generalized latent variable modeling, multilevel, longitudinal, and structural equation models*. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall/CRC.

Smith, L. (2001). Six sigma and the evolution of quality in product development. *Six sigma forum magazine* , 28-35.

Smith, L., & Phadke, M. (2005). Some thoughts about problem solving in a DMAIC framework. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 151-166.

Snee, R. (2010). Lean six sigma getting better all the time. *International journal of lean six sigma* , 9-29.

- Snee, R. (2004). Six Sigma: the Evolution of 100 Years of Business Improvement Methodology. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 4-20.
- Snee, R. (1999). Why should statisticians pay attention to six sigma? *Quality Progress* , 100-103.
- Snee, R., & Hoerl, R. (2007). Integrating lean and Six Sigma a holistic approach. *Six sigma forum magazine* , 15-21.
- Stock, G. (2002). Taking performance to a higher level. *Six Sigma Forum Magazine* , 23-26.
- Su, C.-T., Chiang, T.-L., & Chnag, C.-M. (2006). Improving service quality by captalising on an integrated Lean six Sigma methodology. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 1-22.
- Su-Hu, Y. (1995). The international Transferability of the firms advantages. *California Management Review* , 73-88.
- Szeto, A., & Tsang, A. (2005). Antecedents to successful implementation of six sigma. *International Journal of six sigma and competitive advantage* , 307-322.
- Tang, L., Goh, T., Lam, S., & Zhang, C. (2007). Fortification of Six Sigma: Expanding the DMAIC Toolset. *Quality and Reliability Engineering International* , 3-18.
- Tang, L., Goh, T., Yam, H., & Yoap, T. (2006). *Six Sigma: Advanced Tools for Black Belts and Master Black Belts*. John Wiley & Sons.
- Tapia, M. A. (2000). *Metodologia de la Investigacion*. Obtenido de INGENIERÍA EN GESTIÓN INFORMÁTICA: <http://www.angelfire.com/emo/tomaustin/Met/metinacap.htm>
- Thawani, S. (2004). Six Sigma: strategy for organizational excellence. *Total Quality Management* , 655-664.
- Thompson, B. (2003). *Score reliability: contemporary thinking on reliability issues*. Thousand Oaks, California: SAGE.
- Tkáč, M., & Lyócsa, Š. (2009). On the Evaluation of Six Sigma Projects. *Qual. Reliab. Engng. Int* .
- Tobias, P. (1991). A Six Sigma Program Implementation. *IEEE 1991 Custom Integrated Circuits Conference* (pp. 2911-2914). IEEE.
- Trompenaars, F. (1993). *Riding the waves of culture: Understanding Cultural diversity in Business*. New York: McGraw Hill.
- Ugboro, I., & Obeng, K. (2000). Top management leadership, employee empowerment, job satisfaction and customer satisfaction in TQM organization. *Journal of quality management* , 247-272.

- Valles, A., Sanchez, J., Noriega, S., & Gómez, B. (2009). Implementation of Six Sigma in a Manufacturing Process: A Case Study. *The International Journal of Industrial Engineering* , 171-181.
- Van Den Hauvel, J., Does, R., & Koning, H. (2006). Lean Six Sigma in a hospital. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 377-388.
- Vázquez, R. (2007). *Identificación de los factores de mayor influencia en la práctica exitosa de Kaizen*. Ciudad Juárez: Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez.
- Voelkel, J. (2002). Six sigma: something's missing. *Quality Progress* , 98-101.
- Wang, F., Du, T., & Li, E. (2004). Applying six sigma to supplier development. *Total quality management and business excellence* , 1217-1229.
- Wang, H. (2008). A Review of Six Sigma Approach: Methodology, Implementation and Future Research. (pp. 1-4). IEEE.
- Ward, S., Poling, S., & Clipp, P. (2008). Selecting Successful Six Sigma Projects. *Quality Managment* , 50-51.
- Wasik, J., & Ryan, B. (1993). *TQL in the Fleet: from Theory to Practice*. Arlington, VA: TQLO Publication.
- Welch, J., & Byrne, J. (2001). *Jack -Straight from the Gut*. New York: Warner Books.
- Williams, L., & Holahan, P. (1994). Parsimony-based fit indices of multiple indicator models: Do they work? *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* , 161-189.
- Wright, N., & Basu, R. (2008). Project management and six sigma: obtaining a fit. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage* , 81-94.
- Wyper, B., & Harrison, A. (2000). Development of six sigma methodology in human resource function: a case study. *Total quality management* , 720-727.
- Yam, H. Y. (2006). Six Sigma: Past, Present and Future. In H. Yam, & T. Yoap, *Six Sigma: Advanced Tools for Black Belt and Master Black Belt* (pp. 2-17). John Wiley and Sons.
- Yang, C. (2004). An integrated model of TQM and GE-Six-Sigma. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 97-111.
- Yang, K. (2004). Multivariate statistical methods and Six Sigma. *International journal of six sigma and competitive advantage* , 76-96.
- Yang, K.-J., Yeh, T.-M., & Yang, C.-C. (2008). The analysis of the implementation status of six sigma: an empirical study in Taiwan. *International Journal of six Sigma and Competitive Advantage* , 60-80.

Yang, T., & Hsieh, C.-H. (2009). Six-Sigma project selection using national quality award criteria and Delphi fuzzy multiple criteria decision-making method. *Experts Systems with Applications* , 7594-7603.

Yeung, V. W. (2007). Six Sigma paradigm shift. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 317-332.

Zhan, W. (2008). A Six Sigma Approach for the Robust Design of Motor Speed Control Using Modelling and Simulation. *Int. J. Six Sigma and Competitive Advantage* , 95-113.

Zhao, X. (2005). Integrated Triz and Six Sigma Theories for service/Process Innovation. *IEEE* (págs. 529-532). IEEE.

Zu, X., Robbins, T., & Lawrence, F. (2009). Mapping the critical links between organizational culture and TQM/Six Sigma practices. *International J. Production Economics* , 1-21.

7 ANEXOS

ANEXO 1. Cuestionario bajo la plataforma google.



Cuestionario sobre seis sigma

El presente cuestionario tiene como objetivo determinar las condiciones imperantes en la implementación de proyectos seis sigma en organizaciones de México, con la intención de desarrollar estrategias que ayuden a la implementación exitosa de la metodología.

IMPORTANTE, el cuestionario está dividido en dos partes:
PARTE 1. Se evalúa los factores contemplados en la aplicación real de seis sigma y su relación con los resultados obtenidos.
PARTE 2. Se evalúa los factores y condiciones ideales que favorecerían tener buenos resultados.

INSTRUCCIONES: Marque la respuesta según su experiencia y punto de vista sobre los siguientes cuestionamientos.

¿Ha participado en algún proyecto seis sigma?

SI

No

1. APLICACIÓN SEIS SIGMA EN LA REALIDAD

En base a tu experiencia, evalúa que tanto se contemplaron los siguientes factores

¿Quiénes seleccionan los proyectos seis sigma a realizarse?

- Clientes
- Operadores
- Ingenieros
- Mandos medios
- Alta dirección
- Todos

Para la selección de proyectos seis sigma, ¿en qué medida se contempla ...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
el impacto en el cliente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
la contribución financiera (reducción de costo-aumento de ganancia)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
la mejora de proceso?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
el impacto en objetivos de la organización?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Para la selección del equipo seis sigma, ¿en qué medida se contempla ...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
personal de diferentes disciplinas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
técnicas para seleccionar al personal?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

En la implementación de seis sigma, ¿en qué medida la Alta Dirección...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
--	-------------	---	---	---	--------------

En la implementación de seis sigma, ¿en qué medida la Alta Dirección...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
propvee los recursos suficientes?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
se involucra y da soporte?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿En qué medida en un proyecto seis sigma...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
se da la delegación de responsabilidades y autoridades?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
se asigna un presupuesto suficiente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
se usa el Balance Score Card o Cuadro de mando integral?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿En qué medida se ...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
involucra al cliente en proyectos seis sigma?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
enfoca el proyecto seis sigma al cliente?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿En qué medida se define una visión en la organización sobre seis sigma?

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Estrategia para la implementación de seis sigma

¿En qué medida se define una estrategia de implementación de seis sigma?

Estrategia para la implementación de seis sigma

¿En qué medida se define una estrategia de implementación de seis sigma?

1 (No se define) 2 3 4 5 (En mucho)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

¿Quiénes dan seguimiento a los proyectos seis sigma?

puede seleccionar más de una figura

- Alta dirección
- Black belt y/o Champion
- Equipo seis sigma
- Mandos medios
- Consultor / Facilitador
- Nadie

¿Con qué frecuencia se da seguimiento a proyectos seis sigma en curso?

- Diario
- Semanal
- Quincenal
- Mensual
- Mayor tiempo
- No se da seguimiento

¿En proyectos seis sigma, en qué medida se involucra

1 (En nada) 2 3 4 5 (En mucho)

al personal en general?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
al departamento de Recursos Humanos?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
a los proveedores?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

los proveedores de manera voluntaria?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
---------------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

¿En qué medida se enfocan los proyectos seis sigma a...

1 (En nada) 2 3 4 5 (En mucho)

los objetivos estratégicos de la organización?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
el balance financiero (ganancias/perdidas)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿En qué medida se ...

1 (En nada) 2 3 4 5 (En mucho)

administra y controla un proyecto seis sigma en su ejecución?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
proporciona entrenamiento para la administración de proyectos seis sigma?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
cuenta con una base de datos de la organización	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Involucramiento y compromiso del equipo seis sigma

¿En qué medida se da un liderazgo en la ejecución de proyectos seis sigma?

1 (En nada) 2 3 4 5 (En mucho)

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

¿Qué nivel de resistencia hay hacia los proyectos seis sigma en la organización?

- 1 (Alto)
- 2 (Medio)
- 3 (Bajo)

¿Al implementar seis sigma en la organización, en qué medida...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
se emplean técnicas para fomentar un cambio cultural?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
se da un cambio cultural?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Respecto a los miembros del equipo seis sigma, ¿en qué medida...

	1 (No se da)	2	3	4	5 (En mucho)
se brinda educación y entrenamiento?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
se entienden la metodología?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Califique la importancia del tipo de entrenamiento para seis sigma

	1(Nada importante)	2	3	4	5 (Muy importante)
Técnicas estadísticas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnicas de administración de proyectos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnicas de liderazgo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnicas de creatividad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnicas de resolución de problemas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Técnicas de trabajo en equipo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Respecto a los miembros del equipo seis sigma, ¿en qué medida...

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
se da la comunicación efectiva?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
se da un involucramiento	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	1 (En nada)	2	3	4	5 (En mucho)
se da un esquema de compensaciones?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Resultados al implementar seis sigma

¿Al implementar seis sigma, en qué medida se tuvo éxito al obtener los resultados planeados?

	1 (No se tuvo éxito)	2	3	4	5 (Totalmente)
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Qué resultados se han obtenido al implementar seis sigma?

	1 (Muy negativos)	2	3	4	5 (Muy positivos)
Reducción de la variación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mejoramiento de la calidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiencia y autoestima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reducción de costo-aumento de ganancias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Satisfacción del cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

¿Se aplicó técnicas de manufactura esbelta (Lean Manufacturing) además de six sigma?

No

¿Consideras conveniente el uso simultáneo de manufactura esbelta (Lean Manufacturing) y de seis sigma?

No

2. IMPORTANCIA DE LOS FACTORES DE SEIS SIGMA (CASO IDEAL)

EN EL CASO IDEAL, ¿Qué factores son más importantes y se deben considerar para obtener buenos resultados al implementar seis sigma?

Factores sobre la VISIÓN

	1 (Nada importante)	2	3	4	5 (Muy importante)
La selección del proyecto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La selección del personal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El involucramiento y compromiso de la dirección	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contar con una infraestructura organizacional	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Enfocar los proyectos al cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Enfocar los proyectos al balance financiero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contar con una visión para la implementación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Factores sobre la ESTRATEGIA

	1 (Nada importante)	2	3	4	5 (Muy importante)
Seguimiento a proyectos seis sigma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Involucrar a Recursos Humanos a proyectos seis sigma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Enfocar los proyectos seis sigma a los objetivos estratégicos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Involucrar a proveedores a proyectos seis sigma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

La administración y control de proyectos seis sigma en su ejecución	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contar con una estrategia de implementación de seis sigma	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contar con un sistema o base de datos de la organización	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Factores sobre el INVOLUCRAMIENTO DEL EQUIPO

	1 (Nada importante)	2	3	4	5 (Muy importante)
El liderazgo en los proyectos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
El fomento de cambio cultural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La educación y entrenamiento para los miembros del equipo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entender la metodología	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Contar con un esquema de compensaciones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
La comunicación entre el equipo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Involucramiento de los miembros del equipo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SÍ SE CUMPLIERA EL CASO IDEAL ¿En qué medida se lograría tener éxito al obtener los resultados planeados?

	1 (No se obtendría éxito)	2	3	4	5 (Totalmente)
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SÍ SE CUMPLIERA EL CASO IDEAL ¿Qué resultados se obtendrían al implementar seis sigma?

	1 (Muy negativo)	2	3	4	5 (Muy positivo)
--	------------------	---	---	---	------------------

SÍ SE CUMPLIERA EL CASO IDEAL ¿En qué medida se lograría tener éxito al obtener los resultados planeados?

	1 (No se obtendría éxito)	2	3	4	5 (Totalmente)
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

SÍ SE CUMPLIERA EL CASO IDEAL ¿Qué resultados se obtendrían al implementar seis sigma?

	1 (Muy negativos)	2	3	4	5 (Muy positivos)
Reducción de la variación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mejoramiento de la calidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiencia y autoestima	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reducción de costo-aumento de ganancias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Satisfacción del cliente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Información general

¿De cuántos miembros se conforma un equipo seis sigma en su organización?

¿Qué tipo de certificación seis sigma tiene usted?

¿Cuál es su función dentro de la empresa?

¿Cuanto tiempo tiene en el puesto?

¿A qué giro pertenece su organización?

- Aeroespacial
- Agroindustrial
- Alimentos y bebidas
- Automotriz
- Electrónica
- Madera y corcho
- Médica
- Metalmecánica
- Papel-cartón
- Plástico-Resinas
- Textil
- Servicios
- Otro

¿En qué lugar se encuentra usted?

En este espacio puede agregar un comentario, sugerencia o inquietud.

Si desea recibir los resultados de esta investigación, por favor escriba el correo electrónico a donde se enviará

Al terminar de click en la casilla Submit

Powered by [Google Docs](#)

[Report Abuse](#) - [Terms of Service](#) - [Additional Terms](#)