



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
en Celaya



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANÁLISIS DE LOS PRINCIPIOS DE CALIDAD EN LA
EFFECTIVIDAD ORGANIZACIONAL

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:

ANA LETICIA VILLARREAL LUGO

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. MANUEL DARÍO HERNÁNDEZ RIPALDA

CO-DIRECTOR DE TESIS:

M.C. MOISÉS TAPIA ESQUIVIAS

CELAYA, GTO., MÉXICO, FEBRERO, 2020



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Asunto: Autorización de impresión de trabajo profesional.

Celaya Gto., **05 Febrero 2020**

M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL.
Presente.

De acuerdo a la convocatoria hecha por esta jefatura a fin de aprobar o no la impresión del trabajo profesional titulado:

"Análisis de los principios de Calidad en la efectividad organizacional"

*Presentado por el (a) pasante **C. ING. Ana Leticia Villarreal Lugo (M1803004)** alumno (a) del programa de Maestría en Ingeniería Industrial que ofrece nuestro Instituto.
Hacemos de su conocimiento que éste jurado ha tenido a bien aprobar la impresión de dicho trabajo para los efectos consiguientes.*

ATENTAMENTE

M.C. MANUEL DARIO HERNANDEZ RIPALDA
Presidente


M.C. ALICIA LUÑA GONZALEZ
Secretario
DR. ARMANDO JAVIER RIOS LIRA
Vocal

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
en Celaya

COORDINACIÓN DE MAESTRÍA DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL

M.C. VICENTE FIGUEROA FERNANDEZ
Vocal Suplente

Ccp. Escolares
Archivo.
VFF*MTE*dmvp



1 Resumen

Uno de los principales objetivos que persigue una organización es mantener satisfechos a los clientes. Para alcanzar este objetivo se requiere de la calidad. La calidad de acuerdo con diversos autores es cumplir con los requisitos y especificaciones del cliente, tanto de productos como de servicios. Para garantizar que los clientes obtengan lo mejor de acuerdo con sus requerimientos, la organización ISO (International Organization for Standardization) seleccionó ocho principios, de los 14 principios establecidos por el Dr. Deming, los cuales están integrados en el Sistema de Gestión de la Calidad. Sin embargo, el principio sistémico fue descartado del estándar ISO versión 9001:2008 debido a que se encuentra integrado en el principio de enfoque a procesos. Por lo tanto, la nueva versión del estándar ISO 9001:2015 establece que son siete principios de calidad. Dicho acontecimiento deja entre dicho la efectividad en la organización relativa a la aplicación de los principios de calidad. La presente investigación pretende realizar un análisis sobre el efecto de los principios de calidad definidos por el Dr. Deming y evaluarlos en la efectividad organizacional. Como herramienta de trabajo se hará uso del software VENSIM. Mediante la simulación de un sistema dinámico y ciertas observaciones que permitan estudiar la efectividad de la organización en el modelo simulado, se evaluarán los principios de calidad a fin de aportar conocimiento que garantice la aplicación efectiva de los mismos en una organización. Además de demostrar que la simulación es una herramienta muy útil y efectiva para probar teorías de calidad.

2 Abstract

One of the main objectives pursued by an organization is to keep customers satisfied. To achieve this goal quality is required. The quality according to several authors is to comply with the requirements and specifications of the client. To guarantee that the clients obtain the best according to their requirements, the ISO organization (International Organization for Standardization) selected eight principles of the 14 principles established by Dr. Deming. The principles are integrated into the Quality Management System. However, the systemic principle was discarded from the ISO standard version 9001: 2008 because it is integrated into the principle of process approach. According to the new version of the ISO 9001: 2015 standard, there are currently seven principles. The effectiveness in the organization of quality principles is controversial. The present investigation intends to carry out an analysis on the effect of the quality principles defined by Dr. Deming later adopted by the International Organization for Standardization (ISO) and to evaluate them in the organizational effectiveness. The VENSIM software will be used as a work tool. The aim is to simulate a dynamic system to obtain observations to study the effectiveness of the organization in the simulated model evaluating each of the quality principles and providing knowledge that guarantees the effective application of quality principles in an organization.

Índice

1	Resumen	2
2	Abstract	3
1.	Introducción	7
1.1.	Contexto.....	7
1.2.	Objetivos de la investigación.....	10
1.2.1.	Objetivo general	10
1.2.2.	Objetivos específicos	10
1.3.	Justificación	11
1.4.	Preguntas de Investigación	12
1.5.	Alcance y limitaciones.....	13
1.6.	Hipótesis	13
2.	Marco teórico	14
2.1.	Calidad.....	14
2.1.1.	Precursores	15
2.1.2.	Antecedentes de la Calidad.....	17
2.2.	Principios de calidad.....	20
2.2.1.	Enfoque al cliente	20
2.2.2.	Liderazgo y compromiso de la dirección	21
2.2.3.	Compromiso del personal.....	21
2.2.4.	Enfoque basado en procesos.....	22
2.2.5.	Enfoque en evidencias para toma de decisiones.....	22
2.2.6.	Mejora continúa.....	23
2.2.7.	Relaciones mutuamente beneficiosas	23
2.3.	Familia ISO 9000.....	24
2.3.1.	ISO 9000 Sistema de Gestión de Calidad: Fundamentos y vocabulario	24
2.3.2.	ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de Calidad: Requisitos	25
2.3.3.	ISO 9004:2018 Sistema de Gestión de Calidad: Directrices para la mejora del desempeño.....	28
2.4.	Metodologías y filosofías de la calidad	30
2.4.1.	Método 5´ s.....	30
2.4.2.	Seis Sigma	31
2.4.3.	Método (PDCA)	32
2.4.4.	Kaizen.....	33

2.4.5.	Poka-yoke	34
2.4.6.	Manufactura Esbelta	34
2.4.7.	Método Taguchi y Función de pérdida.....	35
2.5.	Medición de la efectividad.....	36
2.5.1.	Definición de indicadores	37
2.5.2.	Tipos de indicadores	37
2.5.3.	Diseño de indicadores.....	38
2.6.	Sistemas	39
2.6.1.	Límite de los sistemas	40
2.6.2.	Enfoque sistémico	41
2.6.3.	Clasificación de los sistemas	42
2.7.	Simulación	43
2.7.1.	Simulación por computadora.....	44
2.7.2.	Tipos de enfoques en modelos de simulación	46
2.7.3.	Metodología de Sistemas Dinámicos	49
2.7.4.	Construcción del modelo de simulación.....	50
2.7.5.	Diagrama de Bucle causal	51
2.7.6.	Desarrollo del modelo	51
2.7.7.	Vensim.....	52
2.7.8.	Verificación y validación del modelo.....	53
2.8.	Diseño de experimentos	56
2.9.	Paradoja de la mejora de calidad	58
2.10.	Estado del arte	60
3	Método de investigación	63
3.1.	Descripción de las etapas del método	63
3.1.1.	Determinar el tipo de modelo de simulación que se utilizará en la investigación.....	64
3.1.2.	Definir las variables del modelo de simulación.....	64
3.1.3.	Diseñar el diagrama para representar las variables de un sistema real.....	65
3.1.4.	Construir un modelo de simulación de sistemas dinámicos.....	65
3.1.5.	Validar un modelo de simulación de sistemas dinámicos	67
3.1.6.	Revisar resultados y generar conclusiones	68
4	Resultados	69
5	Conclusiones	75
6	Bibliografía.....	80

Índice de figuras

Figura 2.1 Esquema de una producción carente	18
Figura 2.2 Esquema de elementos que conforman la ISO 9000.....	25
Figura 2.3 Diagrama de elementos de un proceso general	28
Figura 2.4 Representación del estándar ISO 9004:2018	29
Figura 2.5 Representación del círculo de Deming (PDCA)	33
Figura 2.6 Función de pérdida.....	35
Figura 2.7 Red de identificación de elementos	40
Figura 2.8 Simulación de sistema dinámico "The Beer Game"	48
Figura 2.9 Proceso afectado por factores de control y factores de ruido.....	57
Figura 3.1 Método de Investigación.....	63
Figura 3.2 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque de procesos	66
Figura 3.3 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque sistémico	66
Figura 3.4 Método de validación de sistemas dinámicos.....	67
Figura 4.1 Gráfica de contorno para factores con efectos principales.....	72
Figura 4.2 Gráficas de demanda en ambos modelos.....	73
Figura 4.3 Comparación de los modelos de simulación.....	73

Índice de tablas

Tabla 2.1. Descripción del sistema dinámico	47
Tabla 4.1 Factores seleccionados para el experimento de eliminación	70
Tabla 4.2. Valores extremos del modelo en el experimento de cuatro factores	71

Índice de ecuaciones

Ecuación 2.1 Función de pérdida	35
Ecuación 2.2 Satisfacción del cliente	37
Ecuación 2.3 Referente de eficiencia programada	37
Ecuación 2.4 Productividad.....	38
Ecuación 2.5 Impacto relativo al costo-beneficio	38

1. Introducción

1.1. Contexto

En una organización, un principio es una pauta que guía y da dirección hacia un propósito específico, dando sentido a las funciones que desempeña la misma. Los principios en una organización pueden considerarse como una base que ayuda a una organización para alcanzar las metas propuestas en la planeación. Al cumplir con los objetivos establecidos en la organización es posible obtener un beneficio común que involucre tanto al personal interno como a las demás partes interesadas. Una de las metas más importantes de una organización es generar mayores ingresos y con ello garantizar la supervivencia dentro del mercado. La organización se rige bajo un conjunto de normas o reglas basadas en principios.

Uno de los principales objetivos que persigue una organización es mantener satisfechos a los clientes. Para alcanzar este objetivo se requiere de un ingrediente muy importante: la calidad. La calidad no es más que cumplir con los requisitos y especificaciones del cliente, en el momento que lo desee, en la cantidad suficiente y a un precio accesible. Para superar las expectativas de los clientes, la organización debe procurar ofrecer siempre la excelencia en sus productos o servicios. Al asegurar que el cliente ha recibido lo que busca e incluso que se han superado sus expectativas, la organización además de satisfacer la necesidad del cliente, generará confianza en quienes consumen sus productos y obtendrá una mejor reputación la cual al difundirse puede atraer más clientes y por consiguiente mayores ingresos.

La calidad puede ser considerada como un conjunto de atributos adheridos a un objeto o características de algún servicio que permiten agregarle valor. Al generar valor en los productos o servicios, la calidad se vuelve un requisito fundamental e indispensable para la supervivencia de las organizaciones. La calidad además de generar complacencia en los clientes permite a las organizaciones ser guía sobre la forma en que se elaborará cada producto o servicio que se expone ante el cliente.

Para garantizar que los clientes obtengan lo mejor de acuerdo con sus requerimientos, la organización ISO (International Organization for Standardization) seleccionó ocho

principios, de los 14 principios establecidos por el Dr. Deming, los cuales están integrados en el Sistema de Gestión de la Calidad. Con los principios de calidad se busca regular y dar dirección a las actividades de una organización con el fin de ayudar a lograr sus objetivos, mediante una óptima administración. No obstante, el principio sistémico fue descartado del estándar ISO versión 9001:2008, esto debido a que se encuentra integrado en el principio de procesos, de acuerdo con la nueva versión del estándar ISO 9001:2015. Dicho acontecimiento deja entre dicho, entonces, la efectividad que se produce en una organización al aplicar los principios de calidad, por lo que es pertinente la realización de un análisis que permita argumentar que la aplicación de los principios de calidad en una organización es realmente efectiva para la misma y que se lograrán los resultados que prometen dichos principios.

El análisis se define como el pensamiento profundo y detallado de los acontecimientos para llegar por medio de deducciones e inferencias a una idea concreta. El análisis conlleva un esfuerzo por interpretar objetiva y/o subjetivamente información. El análisis en desarrollo pretende evaluar el efecto de aplicar cada uno de los principios de calidad en una organización mediante un modelo de simulación de sistemas dinámicos que represente un sistema real de esta. Como herramienta de trabajo se hará uso del software VENSIM con el cual se pretende obtener observaciones que permitan estudiar la efectividad de la organización en el modelo simulado evaluando cada uno de los principios de calidad y con ello, generar conclusiones pertinentes sobre el estudio en cuestión.

La efectividad puede visualizarse como la medida en que se cumplen las metas fijadas con los recursos disponibles. La efectividad puede medir, por ejemplo, el índice de productividad en una organización, al evaluar el tiempo y la forma de realizar las actividades. Es posible medir que la productividad en una organización sea efectiva, si los insumos utilizados son suficientes, son de calidad y el rendimiento del personal previamente seleccionado desempeña apropiadamente sus funciones para efectuar, mediante un proceso de transformación, un producto terminado que cumpla con las necesidades del consumidor. De igual manera puede determinarse la efectividad de una organización mediante un indicador que mida el retorno sobre la inversión, de esta manera mientras mayores sean los ingresos que genere una organización mayor será su rentabilidad.

La importancia de medir la efectividad radica en el papel fundamental que juega en una organización el nivel del desempeño de las diversas actividades que se llevan a cabo dentro de ella. La alta dirección de las organizaciones debe poseer un profundo y amplio conocimiento acerca del proceso que se ejecuta en la organización para la realización de sus productos. Es importante supervisar el proceso de un producto desde que entra en forma de materia prima hasta que se sufre una transformación, logrando como resultado un producto terminado preparado para su venta. Es preciso evaluar y supervisar detenidamente las operaciones necesarias para lograr lo anterior a fin de asegurar que sean realizadas eficazmente.

Para determinar la efectividad de una organización se deben tomar ciertas mediciones que permitan evaluar el estado o condición en el que se encuentra la organización. La finalidad de aplicar mediciones en una organización es, por ejemplo, buscar la optimización de procesos y programar eficazmente el trabajo, así como de monitorear el progreso de las mejoras implementadas. Una de las formas de llevar a cabo una medición es comparando el tiempo de realización de cada uno de los procesos de una operación contra el tiempo real necesario para realizarla. Por lo tanto, las mediciones también son útiles para monitorear el rendimiento de las personas que operan en una organización.

Para planear correctamente la ejecución de un trabajo además de conocerlo a profundidad, es importante medirlo mediante los instrumentos indicados. Los instrumentos dependen de lo que se quiera medir y mejorar. Al medir la realización de un trabajo se pretende obtener una serie de datos que permitan, por medio de su análisis e interpretación, implementar las acciones correctivas necesarias que estimulen su apropiada y factible realización. Aplicar mediciones en ciertas áreas de la organización permite efectuar un mejor plan de trabajo donde se busque la completa o la mayor eliminación de operaciones y tiempos morosos.

Cuando cierta cantidad de personas con necesidades diferentes se reúnen y llegan a un mutuo acuerdo se comprometen y luchan por lograr metas comunes con la finalidad de obtener una satisfacción personal o autorrealización, se dice que existe una organización. Por lo tanto, una organización es una estructura sistemática enfocada hacia un propósito que proporcione un beneficio común entre todas las partes involucradas a través de la división del trabajo. Es decir, es una asociación de personas que planean e implementan acciones encaminadas a

alcanzar un determinado fin, ya sea económico o social. En una organización se realizan funciones dirigidas a alcanzar las metas propuestas, por ejemplo, entre estas funciones se encuentran aquellas que transforman los insumos en un producto terminado. Cada una de las funciones o actividades de una organización son piezas fundamentales que se establecen a fin de cumplir con los objetivos.

Un modelo puede ser definido como una representación que reproduce las mismas características de un sistema real. El modelo es diseñado para describir la interacción entre las variables de un sistema real. Un modelo es útil para obtener observaciones de un sistema y con ello sugerir estrategias de mejora. También es apropiado para estudiar el efecto de los cambios en el sistema mediante la realización de alteraciones en el modelo y con ello, analizar diversos contextos o situaciones sobre las cuales no se tiene conocimiento o la información que existe es poca.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Analizar el efecto de los principios de calidad para estudiar su relación con la efectividad de una organización mediante un modelo de sistemas dinámicos simulado.

1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar la sustitución del principio del enfoque sistémico por el principio del enfoque de procesos en la efectividad organizacional
- Proponer un modelo de simulación de sistemas dinámicos de una organización para observar que el efecto de aplicar los principios de calidad aumente su efectividad.
- Validar el modelo de simulación para llevar a cabo el análisis.
- Estudiar y seleccionar criterios de comparación relacionados con los principios de calidad para medir el efecto de su aplicación en un modelo de simulación.
- Medir la efectividad de la organización una vez aplicados los principios de calidad para analizar su efecto.

1.3. Justificación

En diversas organizaciones la implementación exitosa de los Sistemas de Gestión de Calidad con certificaciones ISO son ampliamente reconocidos por las evidentes mejoras continuas, obtenidas tanto en los procesos internos como en la calidad del producto. No obstante, las controversias a cerca de la eficacia de la implementación de los Sistemas de Gestión de Calidad en una organización no se han hecho esperar, pese a esto, se ha demostrado mediante evidencia documental que contribuyen a aumentar la satisfacción del cliente, a mejorar la eficiencia y a obtener ingresos. A lo largo del tiempo ha sido eminente la contribución de una gran variedad de autores que han sido participes en la evolución de la calidad. Uno de los más importantes autores que han hecho ilustres aportaciones al desarrollo de la calidad es el Dr. William E. Deming quien propuso una serie de principios, los cuales hoy en día, son la base principal de los Sistemas de Gestión de Calidad. Sin embargo, algunos de los 14 principios se han ido descartando hasta quedar solamente siete.

La presente investigación tiene su razón de ser en analizar el efecto de los principios de calidad definidos por el Dr. Deming y posteriormente adoptados por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) como base de los Sistemas de Gestión de la Calidad y evaluarlos en la efectividad organizacional mediante la simulación de un modelo de sistemas dinámicos.

Se ha escrito gran variedad de literatura relativa a las normas ISO, tales como publicaciones de artículos que comprueban múltiples teorías de calidad. También se han publicado artículos relacionados con las prácticas de Gestión de Calidad Total (TQM), factores de éxito, relación de los estándares de calidad con la innovación, barreras que impiden la implementación exitosa de los estándares de calidad, las consecuencias positivas de la aplicación de los sistemas de gestión de calidad y la eficacia de las prácticas de calidad en las organizaciones. Sin embargo, es necesario continuar con la búsqueda de mejoras en materia de calidad, es decir, los estándares ISO ayudan a identificar aquellos procesos fundamentales para la fabricación del producto que el cliente requiere o del servicio que espera recibir. No obstante, el mercado global y competitivo en el que actualmente se encuentran las organizaciones, además de la creciente demanda y los avances tecnológicos que evolucionan día con día,

afectan significativamente la supervivencia de estas. Es por lo que, los líderes de las organizaciones y el personal en general deben contar con estrategias competitivas que les garanticen una posición en el mercado. Para lograr este cometido no sólo basta con la firme intención de querer hacerlo, es necesario comenzar a accionar, indagando sobre alternativas factibles que permitan a las organizaciones no sólo mantenerse dentro del mercado sino también crecer y obtener mayores ingresos, mejorando continuamente.

Con los resultados obtenidos del análisis en la presente investigación se pretende aportar conocimiento argumentado y útil para futuras investigaciones relativas a las teorías de calidad. Además de demostrar a través de la simulación de sistemas dinámicos que es posible probar teorías de calidad, contribuyendo así al descubrimiento que existe detrás del éxito de una organización.

1.4. Preguntas de Investigación

1. ¿Calcular la efectividad de una organización permite validar el efecto de los principios de calidad en cualquier tipo de organización?
2. ¿Qué tipo de indicadores se van a desarrollar para analizar el efecto de los principios de calidad en la efectividad organizacional?
3. ¿Bajo qué parámetro se seleccionará, de la serie indicadores, aquellos que midan la efectividad de una organización?
4. ¿Bajo qué parámetros se seleccionará de la serie de indicadores aquellos que tengan relación con los principios de calidad?
5. ¿Qué tipo de herramientas se implementará para validar el efecto de los principios en la efectividad organizacional?
6. ¿Se puede decir que una organización aumenta su efectividad validando el efecto de los principios de calidad?
7. ¿Cuáles son los elementos de validación para verificar el efecto de los principios de calidad en la efectividad organizacional en el modelo de simulación de sistemas dinámicos, propuesto?

1.5. Alcance y limitaciones

La investigación en desarrollo tiene como alcance:

- Analizar la aplicación de los principios de calidad para verificar que aumenten la efectividad de una organización.
- Analizar la efectividad de una organización orientada a la producción de bienes y servicios con propósito mercantil, regida por el principio económico mediante criterios de comparación relacionados con los principios de calidad.
- Analizar el efecto de la sustitución del principio con enfoque de sistemas por el principio del enfoque de procesos.
- Proponer y validar un modelo de simulación de sistemas dinámicos.
- Relacionar las variables de una organización con los principios de calidad.

La investigación en desarrollo tiene las siguientes limitaciones:

- No es posible realizar experimentos de largo alcance en una organización real para el análisis.
- El análisis de los principios de calidad será únicamente mediante simulación por computadora usando el programa Vensim.

1.6. Hipótesis

La sustitución del principio del enfoque de sistemas por el principio del enfoque de procesos no aumenta la efectividad de una organización.

2. Marco teórico

2.1. Calidad

La calidad se puede definir como el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, dichas características son evaluadas por los clientes. Además, dichas características adheridas a los productos o servicios les agregan valor.

El objetivo de toda organización que ofrece productos o servicios debe ser cumplir con las especificaciones requeridas y superar las expectativas de los clientes con la finalidad de alcanzar su supervivencia dentro del mercado *“Cumplir con las necesidades y expectativas de los clientes internos y finales proporciona la sensación de felicidad a los clientes”* (Natarajan, 2017). No obstante, el concepto de calidad puede incluir diferentes definiciones de acuerdo con las perspectivas de cada cliente o de la misma organización. Por lo tanto, más que limitar la calidad dentro de un concepto, se debe comprender.

Natarajan (2017) propone algunas descripciones filosóficas de calidad:

- La búsqueda de lo perfecto que nunca termina
- La calidad es la satisfacción de las necesidades
- La calidad es el grado de sentir felicidad
- La calidad es la forma de vida (Natarajan, 2017)

Las organizaciones que encaminan sus actividades hacia la obtención de clientes satisfechos con su compra o con el servicio que pagan, crean y promueven una nueva cultura de calidad con el único fin de generar valor en los productos que se fabrican o en el servicio que se ofrece. Esto, mediante el riguroso y exigente cumplimiento de las necesidades y expectativas, no sólo de los clientes sino también de las demás partes interesadas (proveedores, empleados, accionistas) *“Las organizaciones comprometen objetivos de calidad y negocios para satisfacer a los clientes y otras partes interesadas. Los dos objetivos no son independientes, sino que se complementan para lograrlos”* (Natarajan, 2017).

Las partes interesadas son aquellas que afectan o podrían llegar a afectar la capacidad de la organización para proporcionar productos que cumplan con los requisitos reglamentarios y

legales de los clientes. Para determinar a las partes interesadas, la administración lleva a cabo una serie de revisiones por medio del personal previamente capacitado para supervisar ciertas áreas de la organización. La experiencia del personal que supervisa las áreas es un método que permite identificar a las partes interesadas y sus requerimientos (International Organization of Standardization, 2015).

2.1.1. Precursores

En el amplio recorrido que la calidad ha hecho a lo largo del tiempo ha ido evolucionando continuamente. En su evolución se han visto involucrados destacados maestros con aportaciones importantes y originales en el área de calidad entre los cuales se encuentran:

William Edward Deming, nacido en Iowa el 14 de octubre de 1900 hasta el 20 de diciembre de 1993. Durante la Segunda Guerra Mundial, Deming fue enviado a Japón donde fue llamado para compartir sus conocimientos e ilustrar a técnicos e ingenieros japoneses. A partir de su experiencia en la nación japonesa propuso 14 principios como base para las organizaciones que busquen ser competitivas y productivas logren alcanzar una posición dentro del mercado (Cantú, Delgado, 2011).

Joseph Juran nació el 24 de diciembre de 1904 en Braila. Contribuyó al amplio desarrollo de la calidad con importantes aportaciones, tales como los costos de la no calidad o costos de la mala calidad. Dicha herramienta sirve para calcular el costo de las desviaciones de las normas en el proceso de producción. Amplió la definición de cliente interno y externo con el objetivo de mejorar continuamente la calidad. De igual forma, Juran propuso 10 pasos para alcanzar la calidad entre los cuales se encuentran:

- Crear conciencia de las necesidades y oportunidades de mejora
- Establecer metas de mejoramiento
- Organizarse para cumplir con las metas
- Ofrecer capacitación
- Desarrollar proyectos para la resolución de problemas
- Reportar problemas sin ocultar los errores
- Otorgar reconocimientos

- Comunicar los resultados
- Consistencia en los registros
- Mantener la mejora en todo el sistema organizacional (Hernández y Rodríguez , 2002).

Walter Andrew Shewhart nació el 18 de marzo de 1891 hasta el 11 de marzo de 1967. Shewhart es mejor conocido como “el padre del control estadístico del proceso”. Implementó el control estadístico del proceso en la década de 1920 creando la base para los gráficos de control que miden las variaciones en los procesos. Además, definió el control como la posibilidad de predecir un fenómeno dentro de ciertos límites establecidos y su variación en el futuro (Hernández y Rodríguez , 2002).

Phil Crosby (1926-2001) realizó importantes contribuciones al área de calidad, por ejemplo, el programa “*cero defectos*”. El programa se enfoca en motivar a los trabajadores para hacer bien su trabajo desde la primera vez. De igual manera Crosby publicó una serie de libros relacionados con la calidad entre los cuales se encuentra *Quality is Free (1979)*. Crosby establece que la calidad consiste en cumplir con los requisitos del cliente, prevenir, cumplir con el programa “*cero defectos*” y de igual manera establece que se puede medir la calidad con base en el incumplimiento de las especificaciones del cliente (Cantú, Delgado, 2011).

Genichi Taguchi es un ingeniero mecánico y estadístico japonés nacido el 1ro de enero de 1924. Desarrolló una filosofía de calidad e ideó el concepto de función de pérdida. Dicha filosofía está relacionada con la variabilidad en los productos y la pérdida generada tanto en los clientes como los efectos colaterales para el fabricante (Cantú, Delgado, 2011).

El experto en control de calidad Kaoru Ishikawa nació el 13 de julio de 1915. Realizó importantes contribuciones en materia de calidad, tal como el uso del diagrama de causa-efecto. Este diagrama fue diseñado para detectar problemas en el proceso, así como sus respectivas causas. En 1952, Ishikawa ingreso a la Organización Internacional de Estandarización (ISO). Además, publicó un libro titulado *¿Qué es el control total de calidad? La modalidad japonesa (1985)* (Cantú, Delgado, 2011). Desarrolló siete herramientas para la administración de la calidad, las cuales incluyen: gráficos de control, hoja de registro y

lista de verificación, diagrama de Pareto, diagrama causa-efecto, análisis de correlación y dispersión, gráficos del proceso e histogramas (Hernández y Rodríguez , 2002).

Shigeo Shingo ingeniero mecánico de origen japonés nacido el 8 de enero de 1909, es creador de la filosofía “*Cero Control de Calidad*”. Dicha filosofía está basada en la inspección y la aplicación del sistema Poka-Yoke. Shingo sostenía la idea de que los productos defectuosos son el resultado de los errores de los trabajadores. Por lo tanto, Shingo propuso realizar continuas inspecciones a fin de corregir dichos errores evitando que se siguieran repitiendo en futuros procesos (Cantú, Delgado, 2011).

Mikel Harry es autor de la filosofía “*Seis Sigma*” y fundador de la Academia Seis Sigma. Descubrió que numerosas variaciones en el proceso provocaban un menor grado de satisfacción en el cliente y, por consiguiente, carencia en la efectividad para satisfacer los requisitos solicitados. Su experiencia en la empresa Motorola lo motivó a crear la filosofía al observar las variaciones excesivas en los procesos (Cantú, Delgado, 2011).

2.1.2. Antecedentes de la Calidad

Inspección

Desde el origen del hombre la calidad ha tenido lugar de acuerdo con el contexto de la época en que se desarrolló. Anteriormente, la calidad consistía en seleccionar únicamente los alimentos o la vestimenta que beneficiara a quienes adquirirían dichos productos. Fue entonces que, a partir del siglo XIX, la formación de comunidades humanas fue tomando lugar hasta llegar al surgimiento de los mercados. La etapa de inspección es principalmente caracterizada por la detección y solución de los problemas generados por la falta de uniformidad en el producto. El proceso de inspección comenzaba a partir de que el producto ya estaba terminado, de tal manera que los productos que fueran identificados como defectuosos eran considerados desechos, impidiendo que esos productos llegaran al consumidor (Cantú, Delgado, 2011).

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra un esquema de producción donde claramente es evidente la falta de procesos que contribuyan a mejorar la calidad del producto final.

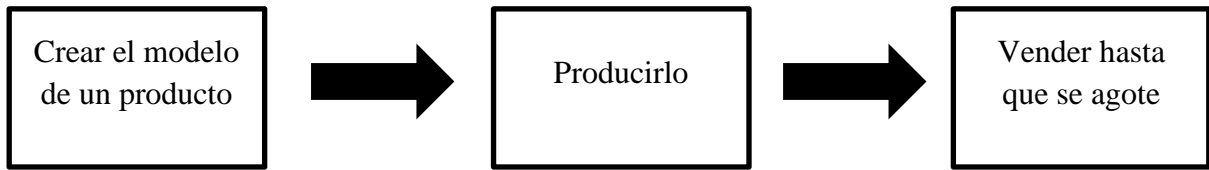


Figura 2.1 Esquema de una producción carente. Fuente: (Hernández y Rodríguez , 2002)

Control estadístico de procesos

El control estadístico de procesos está basado en el uso técnicas estadísticas. Por medio de la recolección de datos, se miden las variaciones en el proceso de un producto a fin de detectar alguna discrepancia que afecte la calidad del producto final. El control de procesos ayuda a reducir significativamente el índice de desechos, así como a detectar anticipadamente las posibles causas de un problema “*Se entendía la calidad como un problema de variación que puede ser controlado y prevenido mediante la eliminación a tiempo de las causas que lo provocaban*” (Cantú, Delgado, 2011).

El Control de proceso es el conjunto de acciones y herramientas utilizadas para la detección de errores para que, mediante este conjunto de herramientas y acciones, sea posible asegurar que el producto o servicio cumpla con los requerimientos de calidad. Para verificar que dichos requerimientos de calidad sean cumplidos son necesarias las inspecciones continuas por cada proceso dentro de la organización. También se deben analizar las incongruencias por medio de métodos estadísticos, para que se logren eliminar aquellos artículos defectuosos que no cumplan con las especificaciones del consumidor. Una herramienta útil para análisis y detección de posibles fallas en los procesos son los gráficos de control. De acuerdo con Ishikawa la importancia de usar gráficos de control radica en la eficacia del procedimiento para detectar la presencia de problemas reales o potenciales. Esto, mediante el análisis del comportamiento del proceso y previniendo posibles fallas con la aplicación de métodos estadísticos (Cantú, Delgado, 2011).

Control de Calidad Total

El concepto de calidad ha ido evolucionando conforme al contexto de cada época. La calidad pasó de ser considerada como una herramienta de control de procesos y productos solamente, a ser una estrategia para las organizaciones optimizando los procesos de respuesta al cliente y los costos de los procesos de producción “*La calidad no se controla, se fabrica*” (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017). A partir de esta consideración de la calidad como una estrategia, surge la necesidad de involucrar a todos los departamentos que participan en el proceso de producción. Además de contrarrestar el impacto de los costos de la no calidad, asegurando así, que el producto final cumpla con las especificaciones “*Conjunto de actividades y técnicas realizadas con la idea de crear una característica específica de calidad*” (Cantú, Delgado, 2011).

Gestión de la Calidad Total (TQM)

Estrategia de mejora desarrollada en 1950 y 1960 por industrias japonesas impulsadas por las prácticas de calidad de W. Edward Deming y J. Juran. La estrategia fue adoptada por empresas estadounidenses tras un profundo análisis en 1983. La TQM (Total Quality Management), por sus siglas en inglés, está orientada a crear una cultura de calidad en todos los procesos de organización y es implementada en todos los sectores de la industria “*La Gestión de Calidad Total es la evolución de la calidad a calidad total*” (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017). Es un conjunto de actividades planificadas y controladas. Dichas actividades son aplicadas tanto a productos como a servicios y están dirigidas al logro de un objetivo que es ofrecer la excelencia de acuerdo con lo que el cliente necesita.

La TQM ha evolucionado a lo largo del tiempo, comenzando por el control de calidad por inspección. Posteriormente aparecieron los métodos estadísticos con enfoque en el proceso a fin de controlar las variaciones. Una vez identificadas las variaciones, aplicando las respectivas acciones correctivas, se buscaba la calidad del producto terminado. Además de asegurar que el proceso del producto fuera de calidad hasta llegar a la reingeniería del proceso.

2.2. Principios de calidad

Los principios de calidad son la base del Sistema de Gestión de la Calidad de la ISO 9001:2015. Los cuales fueron desarrollados con el objetivo de proporcionar un marco de referencia a las organizaciones que les brinde dirección y sentido a sus actividades (International Organization of Standardization, 2015). Los siete principios se describen brevemente a continuación:

2.2.1. Enfoque al cliente

“Un cliente satisfecho, además de repetir sus compras en el futuro, será la mejor publicidad que puedan tener los productos” (Cantú, Delgado, 2011).

Toda organización depende de sus clientes para su supervivencia *“El cliente representa ganancias y más trabajo para la organización”* (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017). Por lo tanto, los miembros que conforman una organización deben poseer amplio conocimiento tanto de las actuales como futuras necesidades de sus clientes. Esto, con el objetivo de cumplir y superar las expectativas *“Los esfuerzos de todos los integrantes de la organización deben orientarse hacia la satisfacción y el cumplimiento de las expectativas de los clientes; de ser así, éstos la favorecerán con su compra constante”* (Cantú, Delgado, 2011). Entre las metas diseñadas por la organización debe encontrarse el logro de la máxima satisfacción del cliente, tomando en cuenta sus necesidades y encaminando cada actividad al cumplimiento de esta meta.

De acuerdo con Natarajan (2017) el enfoque al cliente es:

- Monitorear la efectividad de la interacción entre los procesos de soporte y los procesos de producción para cumplir con los requisitos del cliente.
- Proporcionar personal e infraestructura para cumplir con los requisitos de productos y clientes.
- Abordar las necesidades de los clientes cuando se inician las medidas de reducción de costos y tiempos para mejorar la eficiencia de los procesos (Natarajan, 2017).

2.2.2. Liderazgo y compromiso de la dirección

Los líderes tienen la responsabilidad de encargarse de la unidad entre los miembros de su equipo para el logro de las metas de la organización *“El camino hacia una calidad total significa crear una nueva cultura, mantener un liderazgo, desarrollar al personal y el trabajo en equipo, desarrollar a los proveedores, tener un enfoque hacia el cliente y planificar la calidad”* (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017). Por esta razón, los líderes deben crear y difundir un ambiente interno en el que el personal participe y se desenvuelva activamente en el logro de los objetivos.

Es vital generar en el trabajador un sentido de pertenencia en la organización para que, el trabajador pueda contribuir positiva y estratégicamente al crecimiento de la organización. De modo que, desarrolle un pensamiento o ideología que permita que el logro de las metas organizacionales sea benéfico para todos *“El liderazgo es la influencia ejercida por un miembro para cambiar, dar forma y dirigir la acción de otros miembros en la organización”* (Natarajan, 2017)..

No obstante, los líderes están encargados de mostrar con el ejemplo el comportamiento del personal a su cargo. Por lo que, además de ser responsable en sus actividades, la amabilidad y el reconocimiento a los méritos de su equipo, son cualidades que no pueden faltar en un buen líder. Además de valores imprescindibles como son la humildad, el respeto, la solidaridad entre otros.

2.2.3. Compromiso del personal

Tanto la alta dirección como el personal de operación de todos los niveles son parte esencial y su plena participación permite que sus habilidades y capacidades sean utilizadas en beneficio de la organización. Por tanto, la participación del personal en una organización es fundamental para mantener el funcionamiento del Sistema de Gestión de Calidad (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017). Al crear un ambiente de participación por parte de los miembros de una organización en los objetivos, existe una mayor posibilidad de mejora continua, al contribuir a la toma de decisiones y al desempeño eficaz de sus labores.

2.2.4. Enfoque basado en procesos

El proceso se define como la secuencia de actividades que convierten las entradas en las salidas deseadas. Una entrada puede ser la materia prima o los requerimientos del cliente (Repenning & Sterman, 1997). Uno de los principales objetivos de una organización es ser productiva y generar ingresos. Para lograr que una organización cumpla con el objetivo anterior es necesario que los recursos y actividades que intervienen en el proceso de los productos o servicios sean gestionados de manera correcta. Por esta razón, una organización es estructurada mediante procesos, marcando objetivos para cada uno de ellos (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017). Una correcta gestión de los recursos permite visualizar y analizar aquellos recursos que están impidiendo el flujo continuo del proceso. De esta forma, teniendo en cuenta lo anterior, se pueda corregir o minimizar el problema.

El enfoque basado en procesos se relaciona con la gestión, soporte, operación, evaluación del desempeño y mejora. Para mejorar un proceso se deben identificar sus elementos y comprender los vínculos para las operaciones *“La mayoría de los procesos reciben aportes de muchos otros procesos y sus resultados son utilizados por múltiples procesos”* (Natarajan, 2017). Algunos de los elementos de un proceso son una entrada, procedimiento, producto y monitoreo. El monitoreo de procesos se realiza con la finalidad de llevar un control para minimizar variaciones (temperatura, tiempo de operación) de los resultados y medir el logro de los requerimientos.

Un proceso se determina efectivo en la medida que cumple con los requisitos de calidad. Para medir la calidad de un proceso, se emplean indicadores de desempeño apropiados considerando el número de fallas reportadas o quejas de los clientes internos o finales. Para garantizar la eficacia de un proceso se documenta la secuencia (vinculación) de aportaciones de los procesos que interactúan.

2.2.5. Enfoque en evidencias para toma de decisiones

Se debe analizar la información obtenida mediante diversas fuentes y técnicas de recolección de datos para tomar decisiones. De esta forma, retroalimentar y mejorar el proceso del producto o servicio que se ofrece al cliente *“Toda decisión que impacte a la calidad del*

producto debe ser tomada ante un hecho previo que garantice o reduzca la posibilidad de un error” (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017).

2.2.6. Mejora continúa

Todas las organizaciones deben tener como misión, la búsqueda incesante de mejorar continuamente sus procesos e ir acorde a las nuevas tecnologías. La evolución del mercado y la competencia global incitan a las organizaciones a desarrollar estrategias para garantizar la lealtad de sus clientes, así como el aumento en el número de éstos *“Sin mejora continua no se puede garantizar un nivel de calidad, una toma de decisiones acertadas, ni cumplir las metas y objetivos” (Asensi, Gisbert Soler, & Bernabeu, 2017).* La simplificación de operaciones de los procesos y optimizar las herramientas para eliminar el rechazo de productos es un ejemplo de mejora continua.

A lo largo del tiempo se han desarrollado una gran variedad de metodologías que pueden ser implementadas por las organizaciones para mejorar continuamente sus procesos y obtener un mejor nivel de calidad en sus productos. Actualmente la mejora continua que propone la familia de estándares ISO 9000 se basa en el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) por sus siglas en inglés.

2.2.7. Relaciones mutuamente beneficiosas

La relación entre la organización y los proveedores debe ser mutuamente benéfica, para así mejorar la capacidad de crear valor y satisfacer ambas partes. Para lograrlo es necesario crear ciertas alianzas estratégicas entre las partes interesadas (proveedores, empleados, entre otros). Dado que los clientes exigen un producto de calidad, no solo se conforman con saber que la organización está certificada, sino que también exigen que los proveedores de la materia prima que se utiliza para la realización del producto estén certificados. De esta manera, existe una mayor posibilidad de adquirir un producto altamente confiable (International Organization of Standardization, 2015).

2.3. Familia ISO 9000

La historia de la familia de estándares ISO 9000, para la gestión de la Calidad, tiene sus comienzos con la publicación de normas de contratación pública del Departamento de Defensa de los Estados Unidos en 1959. Las grandes organizaciones a menudo tenían que cumplir con una variedad de requisitos de garantía de calidad para cada contrato otorgado. Por lo que, para no obligar a los contratistas a cumplir con los múltiples requisitos, regularmente similares, se adoptó la familia de estándares ISO 9000. Anteriormente los requisitos de la norma estaban destinados a ser utilizados como base para que los proveedores garantizaran calidad en sus productos. Actualmente la familia de estándares de calidad ISO 9000 está diseñada para ayudar a las organizaciones a cumplir con las necesidades de los clientes y otras partes interesadas al mismo tiempo que cumplen con los requisitos legales y reglamentarios asociados a un producto o servicio (International Organization of Standardization, 2015).

La organización ISO, con sede en Ginebra, Suiza, es quien emite la familia de estándares de los Sistemas de Gestión de Calidad. Los cuales están descritos en tres secciones: requerimientos, recomendaciones y lineamientos. Además de algunas definiciones relativas a la norma, guía para la evaluación y acreditación. La norma está diseñada para auxiliar a las organizaciones a garantizar que las necesidades de los clientes y de otras partes interesadas se cumplan. También satisface legalmente los requisitos relativos a los procesos de los que se derivan los productos y servicios (ISO, 2018).

2.3.1. ISO 9000 Sistema de Gestión de Calidad: Fundamentos y vocabulario

La ISO 9000 se enfoca en principios, metas y objetivos relacionados con el cumplimiento y satisfacción de los requerimientos del consumidor *“La norma ISO 9000 proporciona los conceptos, principios y vocabulario fundamentales que se utilizarán al establecer un sistema de gestión de calidad de acuerdo con los requisitos establecidos en la norma ISO 9001”* (International Organization of Standardization, 2015). La familia de estándares ISO 9000 incluye los fundamentos de los Sistemas de Gestión de Calidad. Un Sistema de Gestión de Calidad incluye los siete principios de gestión de calidad o principios de calidad basados en

los principios propuestos por Deming. La ISO 9000 está conformada por los conceptos, principios y vocabulario fundamentales para implementar un Sistema de Gestión de Calidad como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

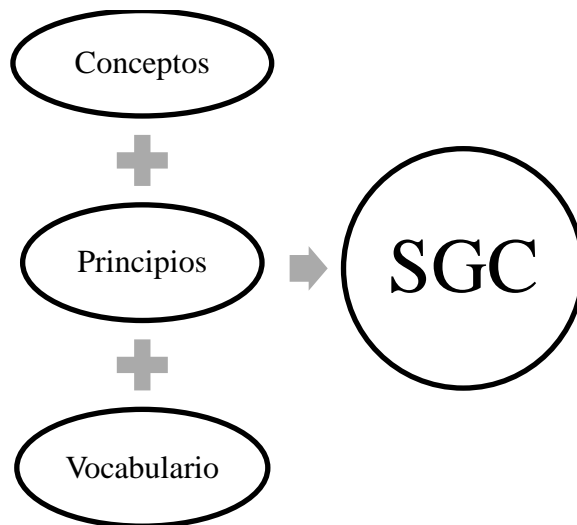


Figura 2.2 Esquema de elementos que conforman la ISO 9000. Fuente: (ISO, 2018)

2.3.2. ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de Calidad: Requisitos

La ISO 9001:2015 es un estándar internacional diseñado para el establecimiento, diseño e implementación de los Sistemas de Gestión de Calidad. El cual está dirigido tanto para organizaciones públicas como privadas (Abuhav, 2017). *“El Sistema de Gestión de la Calidad de la organización es un conjunto de procesos que se integran para proporcionar productos que satisfagan los requisitos reglamentarios del cliente, los procesos son especificados por la ISO 9001 y determinados por la organización”* (Natarajan, 2017).

La ISO 9001:2015 se enfoca en identificar y comprender tanto las necesidades como las expectativas de los clientes a fin de cumplirlas y con ello lograr su satisfacción. Por supuesto, sin dejar a un lado las regulaciones internacionales y nacionales aplicables *“La aplicación de los requisitos del estándar ISO 9001 permite que una organización demuestre su capacidad para proporcionar consistentemente productos o servicios que cumplan con los requisitos del cliente”* (Abuhav, 2017).

La ISO 9001:2015 analiza el contexto de la organización y sus procesos. Esto permite a la organización llevar a cabo una mejor planificación de sus procesos “*El Sistema de Gestión de la Calidad se planifica y establece documentando los procedimientos para que los procesos de la organización satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes internos y finales*” (Natarajan, 2017). Una vez que se ha determinado el contexto en el que opera la organización, se pueden identificar los alcances y limitaciones de sus actividades, que a su vez se verán reflejados en un Sistema de Gestión de Calidad. El objetivo de analizar el contexto de una organización es detectar los problemas externos e internos que son relevantes para cumplir con el propósito de ésta. Para lograr los beneficios previstos por el Sistema de Gestión de Calidad de la ISO 9001:2015 una organización debe identificar dichos problemas externos e internos relevantes y monitorearlos, ya que pueden llegar a afectar al Sistema de Gestión de Calidad (Abuhav, 2017).

Los problemas externos e internos de una organización se determinan mediante las revisiones de la administración donde la alta gerencia debe asignar al personal capacitado para la supervisión de los procesos que se pretenden monitorear. Una vez realizada la supervisión se redacta un informe detallado de los resultados y métodos de solución del monitoreo. Dicho informe es entregado a la administración para las debidas correcciones (Cantú, Delgado, 2011).

Abuhav (2017) propone una serie de problemas externos e internos relativos a la organización, a continuación se mencionan algunos:

- Expectativas de las partes interesadas (clientes, proveedores, inversionistas)
- Productos que proporcionan mayor valor a las partes interesadas
- Procesos y actividades para cumplir con los requisitos de las partes interesadas
- Competencia del recurso humano
- Requisitos legales y reglamentarios (Abuhav, 2017)

De acuerdo con el Dr. Cantú en su libro titulado “*Desarrollo de una Cultura de Calidad*”, la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad permite a la organización obtener múltiples beneficios entre los cuales se encuentran:

- Identificación de áreas de oportunidad comerciales al evaluar el contexto general de una organización.
- La satisfacción constante de los clientes lo que a su vez permite atraer nuevos clientes y mayor oportunidad de negocio.
- Cumplir con las regulaciones internacionales y nacionales reglamentarias.
- Mercado amplio
- Productividad y eficiencia en procesos (Cantú, Delgado, 2011)

“Los propósitos presentados en la norma deben reflejarse en los Sistemas de Gestión de la Calidad de la Organización “ (Abuhav, 2017). Para determinar si el Sistema de Gestión de Calidad ha cumplido con lo esperado, la organización debe conocer a detalle las razones de su implementación, así como del impacto a fin de comparar los resultados que se hayan obtenido (Cantú, Delgado, 2011).

El estándar ISO 9001:2015 incluye el pensamiento basado en el riesgo *“El pensamiento basado en el riesgo tiene como objetivo identificar acciones preventivas para los procesos del Sistema de Gestión de la Calidad” (Natarajan, 2017).* Este nuevo concepto introducido por el estándar promueve a las organizaciones a evaluar los riesgos y las oportunidades para actuar con anticipación ante los imprevistos generados por los cambios que puedan llegar a afectar sus objetivos, las expectativas de las partes interesadas o los requisitos del producto. El riesgo de acuerdo con Abuhav (2017) *“Es la combinación de la probabilidad de que ocurran incumplimientos en las especificaciones del proceso o requisitos del cliente”.*

En la ISO 9001:2015 se determinan los requerimientos de las partes interesadas (empleados, proveedores, clientes). El estándar está orientado al aseguramiento de la calidad del producto y por consiguiente a aumentar la satisfacción del cliente *“La ISO 9001 especifica un conjunto de procesos operativos genéricos para convertir los requisitos del cliente en productos” (Natarajan, 2017).*

Las organizaciones implementan los Sistemas de Gestión de Calidad del estándar ISO 9001:2015 como estrategia para mejorar su desempeño, pero también como base para el desarrollo sostenible. No sin antes comprometerse ampliamente con los objetivos de calidad y negocios para satisfacer los requerimientos tanto de clientes como de las partes interesadas.

El estándar ISO 9001:2015 propone una serie de instrumentos para identificar los requisitos del cliente, para proporcionar los productos y servicios que se requieren, por ejemplo, las políticas de calidad, objetivos de calidad entre otros (Abuhav, 2017).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los elementos de un proceso y la interacción entre cada uno de ellos, así como la ubicación de los puntos que son útiles para monitoreo y control a fin de alcanzar los resultados deseados por la organización.

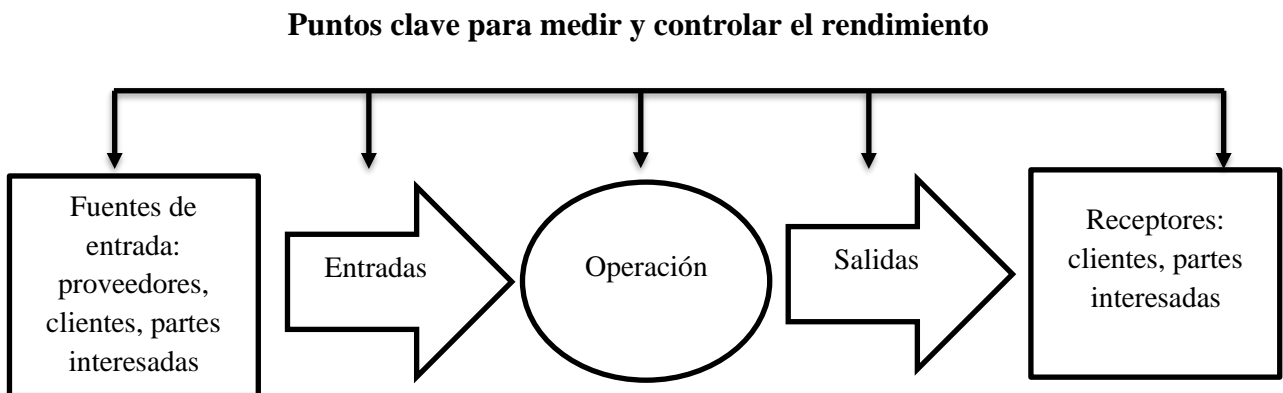


Figura 2.3 Diagrama de elementos de un proceso general. Fuente: (ISO, 2018)

2.3.3. ISO 9004:2018 Sistema de Gestión de Calidad: Directrices para la mejora del desempeño

A diferencia del estándar ISO 9001:2015, el enfoque que tiene la ISO 9004:2018 tiene una perspectiva más amplia, ya que ofrece orientación para la mejora en el desempeño de una organización. De acuerdo con la Organización Internacional de Estandarización (ISO), una organización tiene como objetivo identificar las necesidades tanto de sus clientes como de las partes involucradas y esforzarse en satisfacerlas. De igual manera, toda organización debe buscar mantener y mejorar su desempeño. Por esta razón, para que una organización funcione eficaz y eficientemente, necesita coordinar cada una de sus actividades (inputs y outputs) siendo consideradas como partes del proceso (ISO, 2018).

El estándar ISO 9004:2018 proporciona orientación al brindar una guía para lograr el éxito sostenido de una organización en un entorno complejo, exigente y en constante cambio. Esto

mediante el empleo de los principios de calidad propuestos por el estándar ISO 9001:2015. El éxito de una organización puede verse afectado por diversos factores, por ejemplo, factores tecnológicos, culturales, sociales y ambientales. Dichos factores evolucionan, aumentan o disminuyen con el paso del tiempo. La ISO 9004:2018 incluye planificación, implementación, análisis, evaluación y la mejora de un Sistema de Gestión de Calidad de manera eficaz. De igual manera motiva a las organizaciones a realizar autoevaluaciones constantes a fin de medir el grado en el que ha implementado correctamente los términos del estándar (ISO, 2018). Puesto que el estándar ISO 9004:2018 no sólo busca satisfacer las necesidades del cliente a través de un producto o servicio de calidad sino también busca la satisfacción de proveedores, empleados y sociedad.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la estructura del estándar que contiene los elementos fundamentales para lograr el éxito sostenido de una organización independientemente del tamaño, giro u actividad.



Figura 2.4 Representación del estándar ISO 9004:2018. Fuente: (ISO, 2018)

2.4. Metodologías y filosofías de la calidad

El método se define como una serie lógica de pasos a seguir, es decir, el camino que se recorre para alcanzar uno o varios objetivos. La metodología puede definirse como la búsqueda del método que se aplicará a un determinado caso de estudio.

La metodología de calidad es creada con la finalidad de ayudar a las organizaciones a ser competitivas mediante la planeación, control y mejora de la calidad de productos, servicios e incluso de procesos administrativos.

2.4.1. Método 5's

Es un método de origen japonés designado como "5's" debido a la letra inicial de cada fase. El propósito de este método es lograr una mejor organización, limpieza y productividad en el lugar de trabajo. Logrando una localización con mayor rapidez de los artículos que se necesitan para cada operación reduciendo así, los tiempos innecesarios. No obstante, para mantener la mejora en cuanto a las condiciones de trabajo y entorno físico, es necesario hacer de éste método (organización, limpieza y productividad) una filosofía de vida *"Para que las cinco eses permanezcan como cultura se requiere que todo el desarrollo en cuanto a clasificación, orden, limpieza y bienestar personal se estandarice para que sus efectos puedan ser permanentes y transferibles a otras áreas y/o al personal de reciente ingreso"* (Cantú, Delgado, 2011).

Cantú Delgado (2011) describe las cinco fases de la manera siguiente:

1. Seiri (Clasificar): Consiste en separar los elementos necesarios de los innecesarios. Una vez identificados éstos, se recomienda deshacerse de los elementos innecesarios a fin de trabajar con mayor productividad.
2. Seiton (Ordenar): A cada objeto se le debe destinar un sitio. Esto con el fin de que se le pueda localizar con rapidez y con mayor facilidad. Una buena técnica para ordenar es la señalización o las etiquetas para ubicar visualmente el lugar del objeto.
3. Seiso (Limpiar): En la industria, la limpieza frecuente permite la identificación de averías en las maquinarias y aplicar acciones correctivas, así como eliminar y/o

disminuir las enfermedades en los trabajadores por contaminación y suciedad en el área de trabajo. Además, se genera un ambiente más saludable para trabajar.

4. Seiketsu (Estandarizar): La estandarización pretende seguir las fases anteriores manteniendo cada una a un nivel constante en su aplicación.
5. Shitsuke (Disciplina): Cumplir con cada una de las fases de manera constante, convirtiéndolas preferentemente en un hábito diario y evitar romper con la cadena de acciones (Cantú, Delgado, 2011).

2.4.2. Seis Sigma

El concepto Seis Sigma fue difundido por Philip Crosby en la década de 1970 como una metodología para lograr niveles de calidad de cero defectos. El propósito de la difusión fue establecer como meta la eliminación total de defectos en los productos *“A nivel proceso Seis Sigma es utilizada para reducir la variabilidad, y con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, así como disminuir los costos directos”* (Gutiérrez & De la Vara Salazar, 2013) . La metodología fue implementada en 1988 por el ingeniero Bill Smith en la empresa Motorola, como estrategia para mejorar la calidad y así aumentar la productividad y rentabilidad de una empresa. Seis Sigma, además de implicar un cambio radical en la forma de ejecutar las operaciones, implica el compromiso de la alta dirección, líderes de negocio y personal. Donde cada uno posee una responsabilidad distinta encaminada hacia un mismo objetivo, que es un proyecto de mejora. Debido a que la metodología busca que en cada uno de los procesos se cumpla con los requisitos del cliente, todo el personal de la empresa debe estar propiamente capacitado y comunicado entre sí, para entender a profundidad lo que el cliente necesita (Cantú, Delgado, 2011).

La metodología está enfocada en la variabilidad de los procesos con el fin de mejorarlos, eliminando el máximo de defectos *“Enfoque disciplinado que se basa en el uso de la estadística para mejorar el desempeño de los negocios, eliminar defectos en los productos, procesos y transacciones de una organización, al disminuir el costo de operación y el de los productos vendidos y al incrementar la satisfacción del cliente”* (Cantú, Delgado, 2011). Se

entiende como defecto toda aquella característica de un artículo que no cumpla con las especificaciones del cliente.

De acuerdo con Cantú Delgado (2011) la metodología Seis Sigma está basada en un procedimiento que consta de cinco etapas, las cuales se describen brevemente a continuación:

1. Definir: Identificar y establecer el problema, formulando los objetivos por alcanzar. La definición del problema debe ser clara y concisa a fin de evitar resolver problemas erróneos.
2. Medir: Comprender la amplitud del problema. Consiste en recolectar datos para validar y cuantificar el problema a fin de perfeccionar el plan de mejora.
3. Analizar: Evaluar la estabilidad y capacidad del proceso para indagar acerca de las causas que ocasionaron el problema.
4. Mejorar: Implica acciones correctivas al problema.
5. Controlar: Medir la mejora del problema con la ayuda de indicadores que monitoreen el rendimiento del proceso y la evolución del efecto de la mejora implementada (Cantú, Delgado, 2011).

2.4.3. Método (PDCA)

El método se basa en cuatro simples fases: planear, hacer, verificar y actuar (Plan-Do-Check-Act), se utiliza como estrategia de mejora de calidad para solución de problemas. El concepto PDCA inicialmente fue ideado por Shewhart, también es conocido como “círculo de Deming”.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el círculo Deming que consta de cuatro fases. La primera fase es planear, esta consiste en establecer ciertas actividades dirigidas hacia la búsqueda de la solución a un problema previamente identificado y analizado. La segunda fase es hacer, es decir, que mediante el análisis profundo y detallado de las causas que originan el problema, se proponen una serie de soluciones y se idea un plan de trabajo para implementar dichas soluciones. La tercera fase consiste en verificar. Por lo que, se debe evaluar el grado de mejora obtenida al aplicar las acciones aprobadas en el paso anterior, para comparar y observar las mejoras alcanzadas. Finalmente,

la cuarta fase es actuar, es decir, a partir de los resultados derivados, se retroalimenta el proceso y se pone en marcha lo aprendido, así como la realización de los ajustes necesarios que se hayan identificado en la verificación (Cantú, Delgado, 2011).

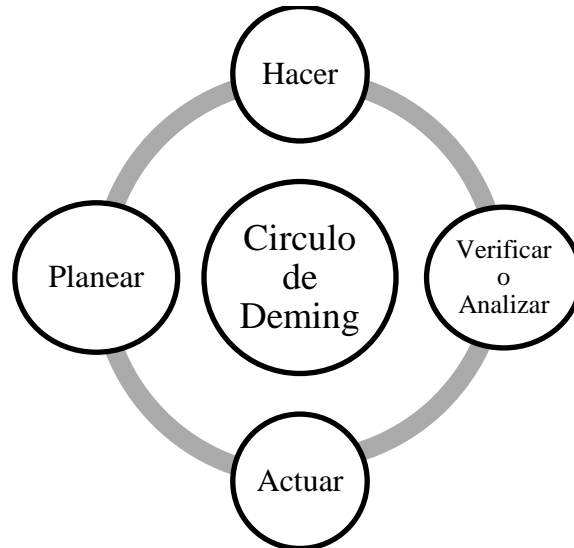


Figura 2.5 Representación del círculo de Deming (PDCA). Fuente: (Hernández y Rodríguez , 2002)

2.4.4. Kaizen

Palabra japonesa que se traduce como “mejora continua”. El origen de la palabra se remonta a la filosofía budista, donde el beneficio (zen) no debe ser individual, sino más bien que también llegue a otros.

El kaizen es una filosofía que consiste en analizar un proceso para identificar las causas que puedan originar alguna variación en los productos y aplicar alguna acción correctiva que permita eliminar esas causas. De esta manera, se contribuye a la mejora en el desempeño del proceso. Este procedimiento involucra desde la alta dirección hasta el personal de operación. Con la finalidad de mantener la mejora en el desempeño del proceso, es necesario estandarizar operaciones y controlar el procedimiento por medio de indicadores para medir las mejoras “*Si el procedimiento no es estandarizado y/o el personal no tiene la disciplina para seguirlo, el nivel de desempeño logrado se perderá pronto*” (Cantú, Delgado, 2011).

El kaizen es implementado como una estrategia de mejora continua, sin embargo, Kauru Ishikawa enfatiza que para que su implementación sea efectiva, es necesario conocer todas las variables que intervienen en el proceso.

2.4.5. Poka-yoke

Técnica de calidad a prueba de errores con el fin de evitar la posibilidad de cometerlos en la operación de un sistema. El poka-yoke fue introducido en 1960 por el ingeniero Shigeo Shingo en un sistema de producción de la empresa Toyota (Cantú, Delgado, 2011).

2.4.6. Manufactura Esbelta

Filosofía iniciada por Taiichi Ohno y Shigeo Shingo con el fin de reducir desperdicios (sobreproducción, tiempos de espera, transporte, exceso de procedimientos, inventario, movimientos y defectos). De igual manera, la Manufactura Esbelta es una metodología dirigida a aumentar la eficiencia en la producción, ya que ha permitido a múltiples organizaciones responder a las necesidades comerciales y reducir el desperdicio. Esto mediante la gestión del flujo de producción hasta que el producto final llega al cliente, utilizando el mínimo de recursos y por consiguiente reduciendo costos. (Bhamu & Singh Sangwan, 2014).

La filosofía emplea algunos principios tales como “hacerlo bien y a la primera”. Dichos principios consisten en satisfacer las necesidades del cliente tan rápido como lo requiera, mejorando así los tiempos de entrega. La filosofía está basada en la ideología de cero defectos, identificación de problemas y su respectiva solución. También emplea el principio basado en la optimización de recursos, la mejora continua, control del flujo de productos (cantidad necesaria, en el momento que se ocupe) flexibilidad en la producción y relaciones a largo plazo con proveedores a fin de compartir información.

2.4.7. Método Taguchi y Función de pérdida

La función de pérdida relaciona cuantitativamente la pérdida provocada por la variación de un producto. De acuerdo con Taguchi, Chowdhury y Wu (2005) la calidad se define como *“La pérdida comunicada por el producto a la sociedad desde el momento en que se envía el producto”* (Taguchi, Chowdhury, & Wu, 2005).

La función mide la calidad desde el enfoque de pérdida por parte del cliente y del fabricante. La calidad desde este enfoque está relacionada a la pérdida monetaria que un producto o servicio provoca a la sociedad que lo consume o adquiere (Cantú, Delgado, 2011).

De acuerdo con Taguchi, Chowdhury y Wu (2005) la función de pérdida se calcula de la siguiente manera:

$$L(y) = k (y - m)^2 \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

L = Valor monetario

y = Variación de la característica de calidad especificada por el cliente

m = Valor nominal

k = Constante

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra una representación cuadrática donde m aumenta a medida que se desvía del valor objetivo.

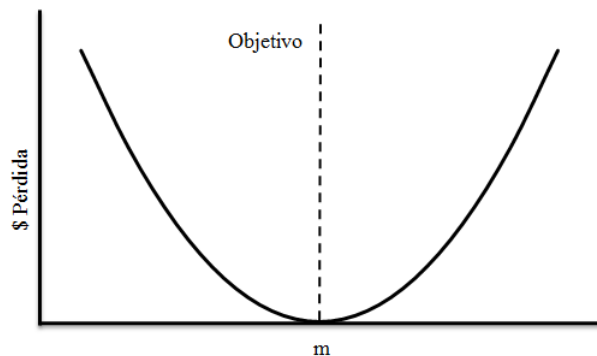


Figura 2.6 Función de pérdida. Fuente: (Taguchi, Chowdhury, & Wu, 2005)

Desde esta perspectiva se puede observar cómo la calidad puede ser medida con base en ciertos costos ocasionados por la variabilidad del producto final. En dichos costos no incurre únicamente el consumidor una vez que lo adquiere, sino que el fabricante debe responder a la reacción negativa de un cliente insatisfecho. El Ingeniero Taguchi define en su filosofía tres importantes consideraciones para dicha función. Estas consideraciones ayudan a comprender con mayor claridad el enfoque del resultado que se obtenga en la resolución de la ecuación (Taguchi, Chowdhury, & Wu, 2005):

1. Menor es mejor $y = 0$
2. Nominal es mejor $y = m$
3. Mayor es mejor $y = \infty$

2.5. Medición de la efectividad

Debido a que las organizaciones operan en entornos cambiantes, continuamente se ven afectadas por ciertas condiciones. Donde sus procesos, planeación e incluso el comportamiento del personal varía en respuesta al cambio. Por esta razón, las organizaciones se ven obligadas a evaluar las variaciones surgidas entre lo que se ha logrado hasta el momento y lo que se planeó inicialmente, a fin de aplicar medidas correctivas y con ello alcanzar las metas planeadas lo mejor posible (Hernández y Rodríguez , 2002).

Lo que no se mide no se puede mejorar. Esto quiere decir que, todas aquellas organizaciones que pretendan mejorar el desempeño tanto de sus procesos como de su personal deben empezar por medir la efectividad de su organización. La definición de la efectividad de una organización puede variar dependiendo de los objetivos que se persigan “*Lo que se mide se determina en relación con las metas de la empresa*” (Montana, 2004). No obstante, es posible concretar una definición general para la efectividad de una organización como el logro de los objetivos deseados con el mínimo de recursos, obteniendo así mayores ingresos. Para monitorear la efectividad de una organización, existen indicadores, los cuales ayudan a conocer el estado de una organización o el grado en el que se han conseguido los resultados deseados.

2.5.1. Definición de indicadores

Un indicador es un parámetro de control que se establece en términos de los resultados que se pretende alcanzar (estándares o ideales). El diseño de un indicador debe ser claro y preciso para que muestre exactamente lo que se quiere medir. Un indicador permite conocer en términos absolutos variables económicas, financieras, productivas entre otras, para poder evaluar su comportamiento, controlarlas y orientarlas hacia las metas propuestas (Hernández y Rodríguez , 2002). Además, es utilizado para monitorear el avance de ciertas acciones y está dado en porcentaje, lo que facilita la toma de decisiones basadas en resultados.

Un indicador arroja un valor que sirve para comparar datos y obtener observaciones de acuerdo con los criterios del analista. La necesidad de construir indicadores radica en la importancia que tiene conocer el comportamiento que ha tenido una acción o actividad ejecutada. Por lo que, se debe definir con claridad lo que se quiere medir. De tal manera que, el resultado que arroje un indicador muestre exactamente un valor que permita aplicar las acciones correctivas en caso de requerirse.

2.5.2. Tipos de indicadores

Hernández y Rodríguez (2002) establece una serie de indicadores para administrar y orientar las actividades de una organización hacia el logro de las metas entre los cuales se encuentran:

- Satisfacción de clientes: Mide el nivel en términos reales de satisfacción de los clientes en relación al producto o servicio de la organización.

$$\frac{\text{Número de clientes}}{\text{Número de quejas anualizado}}$$

Ecuación 2.2

- Referente de eficiencia programada: Mide la calidad de una gestión administrativa

$$\frac{\text{Resultados}}{\text{Metas programadas}} = 1$$

Ecuación 2.3

- Productividad: Mide la productividad de la organización. No obstante, puede existir un incremento a medida que se mejoren los recursos tales como la mano de obra, maquinaria, materia prima entre otros.

$$\frac{\text{Producto}}{\text{Insumo}} = 1 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

“La productividad se entiende como la relación entre lo producido y los medios utilizados”
(Gutiérrez & De la Vara Salazar, 2013).

- Impacto: Mide el impacto relativo al costo-beneficio (Hernández y Rodríguez , 2002)

$$\frac{\text{Costo de insumos}}{\text{Población atendida}} = 1 \quad \text{Ecuación 2.5}$$

2.5.3. Diseño de indicadores

Para obtener una mejor interpretación de los resultados de indicadores, debe definirse con objetivamente lo que se desea medir, analizando el contexto de la situación. Los objetivos establecidos deben ser concretos, ya que, si presentan deficiencia en su construcción, el resultado que se obtenga del indicador será impreciso y poco claro. También se debe determinar el objetivo de la medición.

Patrick J. Montana (2004) propone algunas tareas que la organización puede lograr al medir el progreso de sus metas, por ejemplo:

- Determinar grados relativos de éxito o fracaso al comparar el rendimiento actual con el rendimiento deseado.
- Obtener una perspectiva del rendimiento de la organización a través del tiempo al comparar los resultados del rendimiento de años anteriores con los resultados del año en curso.
- Visualizar el rendimiento de una organización en comparación con otras de la misma industria (Montana, 2004).

Es importante delimitar el alcance que tendrá un indicador a fin de no divagar sobre información innecesaria. Posteriormente se debe formular la ecuación para generar resultados. Para este paso es necesario definir el método que se usará para calcular la medición (porcentaje, índice, tasa de variación). También se debe determinar el nombre de cada una de las variables que intervendrán. Las variables deben relacionarse con los objetivos establecidos. Posteriormente se debe verificar que tanto las variables como el método de cálculo sean coherentes entre sí y finalmente establecer la frecuencia de medición del indicador (mensual, bimestral, semestral).

2.6. Sistemas

Los sistemas son un conjunto de componentes. El sistema está dividido en subsistemas, donde cada uno de los componentes están relacionados unos con otros “*Un sistema es un conjunto de entidades (componentes) juntos y relacionados entre sí*” (McMillan & F. Gonzalez, 1977). Un sistema puede ser considerado parte del ambiente como un subsistema. Cada subsistema contiene entidades con límites y elementos interrelacionados e interdependientes. Por lo que, el cambio en alguno de sus elementos afecta a todo el sistema (McMillan & F. Gonzalez, 1977). Un sistema recibe, guarda, procesa y recupera información

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar un ejemplo de tres componentes que conforman un sistema. Cada componente está relacionado entre sí, donde puede suponerse que un aumento en el componente W causará un aumento en el

componente X y una disminución en el componente Y. Las flechas indican el sentido de la relación entre los componentes, por ejemplo, si sucede un cambio en W afectara a X y a Y. El signo menos señala un cambio en la dirección opuesta y el signo positivo indica que el cambio tendrá el mismo sentido.

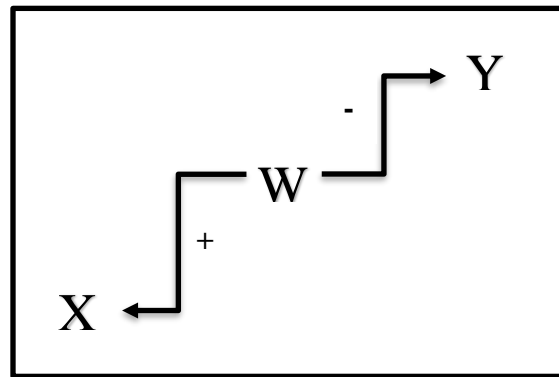


Figura 2.7 Red de identificación de elementos. Fuente: (McMillan & F. Gonzalez, 1977)

2.6.1. Límite de los sistemas

Los sistemas contienen fronteras que los limitan, es decir, es la separación que existe entre un sistema y el entorno. Un límite es la línea que divide a las variables de un sistema de las variables del contexto o medio. Las variables de un sistema o variables de estado son aquellos atributos pertenecientes a las entidades que componen a un sistema y los cuales pueden sufrir de cambios a través del tiempo (McMillan & F. Gonzalez, 1977). Es importante especificar las líneas que dividen a un sistema del ambiente, a fin de definir en él, las variables que estarán en el interior de las variables que serán exteriores y de esta manera conservar la integridad del sistema. El principal objetivo de este procedimiento radica en evitar aquellos cambios que puedan llegar a interferir y afectar a un sistema.

En una organización se dice que los límites no están claramente definidos y que además están abiertos a un intercambio constante de información (Hernández y Rodríguez , 2002).

2.6.2. Enfoque sistémico

Uno de los principales objetivos de los sistemas es lograr similitudes de las propiedades y estructuras de fenómenos que ocurren. El enfoque sistémico busca que cada uno de los componentes de un sistema se visualice como parte de un todo y no de manera aislada.

Como ejemplo del enfoque sistémico, pueden sugerirse a las organizaciones. Éstas surgen a partir de la necesidad de crear una estructura estable, donde cada uno de los diferentes elementos que la conforman sean capaces de apoyarse mutuamente a fin de producir más en conjunto que la suma de resultados individuales (Hernández y Rodríguez , 2002). A medida que prosperan, las organizaciones tienden a crecer, es decir, se van creando pequeñas áreas especializadas en realizar múltiples tareas. De igual manera, va incrementado el número de personas involucradas en la realización de dichas tareas. Donde cada persona es asignada específicamente a alguna de ellas, que además conlleve cierta responsabilidad. Lo anterior también se conoce como jerarquía.

Dado que una organización es un conjunto de personas que dividen el trabajo en tareas coordinadas para alcanzar un determinado fin, mientras combina diferentes entidades que se relacionan e interactúan entre sí e intercambian información. Por lo tanto, una organización puede ser concebida como un sistema abierto que intercambia información, energía y materiales con el entorno que la rodea, el cual puede influir significativamente en la forma de llevar a cabo las actividades dentro de un sistema. De igual forma, una organización puede ser vista como un subsistema del medio ambiente del que obtiene gran parte de sus recursos para operar. Una vez que los recursos pasan por el proceso de transformación, son reincorporados al medio ambiente en forma de productos (Hernández y Rodríguez , 2002).

Existen tareas que se pueden planificar ya que, los requisitos de procesamiento de información son en menor cantidad. Sin embargo, las tareas complejas, en las cuales sus requisitos de procesamiento de información son mayores, no pueden ser planificadas y surge un mayor grado de incertidumbre. Una organización entonces es un sistema que procesa información frente a la incertidumbre de ciertas tareas que deben realizarse.

La incertidumbre se puede definir como la información almacenada y requerida para realizar ciertas tareas. Por lo que, mientras la información que se tenga se encuentre más alejada de la información requerida, la incertidumbre tenderá a crecer (Bystrom & Jarvelin, 1995).

Uno de los propósitos de la creación de una organización es facilitar la recopilación y procesamiento de la información tanto externa como interna entre los componentes que la conforman (Bystrom & Jarvelin, 1995).

2.6.3. Clasificación de los sistemas

Diversidad de sistemas complejos incluyen componentes políticos, tecnológicos, biológicos económicos, físicos entre otros. Los sistemas complejos pueden clasificarse en dos tipos: en sistema abierto y en sistema de retroalimentación.

- Sistema abierto: Es un sistema donde las variables internas interactúan con las variables del medio externo. La principal característica de los sistemas abiertos es que tienen un proceso de cambio infinito con su entorno, es decir, con los otros sistemas. En un sistema abierto la salida responde a la entrada. Sin embargo, la entrada no se ve influenciada por la salida. Por lo tanto, la acción pasada no es afectada por la acción futura. Otra característica de un sistema abierto es que la entrada no tiene conocimiento de su propio rendimiento (Bala, Arshad, & Noh, 2017).
- Sistema de retroalimentación: Es un sistema que no interactúa con los agentes externos. Por lo que, no está conectado ni relacionado con los elementos del medio. Las ecuaciones de movimiento de un sistema cerrado dependen de las variables y factores que contiene el mismo sistema.

A diferencia del sistema abierto, en un sistema de retroalimentación las entradas sufren cambios a consecuencia de la salida. *“Un sistema de retroalimentación tiene una estructura de circuito cerrado que trae de vuelta los resultados de la acción pasada para controlar la acción futura”* (Bala, Arshad, & Noh, 2017). Un sistema de retroalimentación se caracteriza por el retorno del sistema, al comparar la salida con un criterio previamente establecido y mantiene controlada dicha información dentro de un criterio a fin de controlar el comportamiento del sistema.

El proceso de retroalimentación se ejecuta cuando la salida del sistema, en el contexto, vuelve a ingresar al sistema como información. En base a la información que entra, el sistema puede tomar medidas de modificación *“Existe un sistema de retroalimentación de información cuando el entorno conduce a una decisión que se traduce en una acción que afecta al entorno y, por lo tanto, influye en las decisiones futuras”* (Forrester, Industrial Dynamics, 1961). El propósito de este tipo de sistemas radica en la forma en que se usa la información que entra para posteriormente ser controlada.

Existen dos tipos de sistemas de retroalimentación:

- Sistema de retroalimentación positiva: Son aquellos sistemas que generan un crecimiento, por ejemplo, la población.
- Sistema de retroalimentación negativa: Son aquellos sistemas que buscan alcanzar un objetivo, por ejemplo, la temperatura ambiente que es monitoreada por medio de un controlador de temperatura *“Si el movimiento ocurre en la dinámica en una dirección, entonces una fuerza compensatoria empuja contra ese impulso para establecer el equilibrio original (o uno nuevo)”* (Brailsford, Churilov, & Dangerfield, 2014).

2.7. Simulación

La simulación es el instrumento empleado para representar y describir el comportamiento de un sistema real. Dicho sistema tiene cierto grado de complejidad. Para esto, suele ser útil emplear la simulación, ya que por medio de ésta y de algunas ecuaciones matemáticas acopladas es posible comprender un sistema complejo (McMillan & F. Gonzalez, 1977).

Dooley (2002) propone tres enfoques dentro del campo de la simulación, los cuales se describen a continuación:

- Simulación de modelos de eventos discretos: Son viables para sistemas de organizaciones donde las variables y estados correspondientes cambian en instancias específicas de tiempo durante un número finito de veces.
- Modelo de sistemas dinámicos: Es apropiado para situaciones donde existen numerosas variables, las cuales interactúan entre sí y por lo tanto puede existir una tasa de cambio.
- Modelos basados en agentes: Son aquellos modelos que se ajustan mejor a situaciones donde las múltiples entidades que existen en el sistema interactúan entre sí de forma esquemática. (Dooley, 2002)

En diversas organizaciones el uso de la simulación significa que, mediante el establecimiento de las condiciones que describen las operaciones de éstas en una computadora digital con el software apropiado, se pueden generar graficas de tiempo de la información introducida mediante un modelo de un sistema. El cual que se puede analizar para la toma de decisiones. Entre las cuestiones que se pueden analizar se encuentran las finanzas, el potencial humano, estados del producto, así como el efecto de normas administrativas sobre el éxito de la organización (McMillan & F. Gonzalez, 1977).

2.7.1. Simulación por computadora

Cuando un sistema físico es demasiado complejo de analizar, una forma de estudiar su comportamiento dinámico es experimentando con el mismo sistema. Sin embargo, es una alternativa costosa en algunos casos y requiere de mucho tiempo. El modelo de simulación por computadora es un método útil y económico. Además, es práctico, en especial cuando la conexión a tierra no es posible “*La simulación por computadora es un método económico y rápido de experimentar con el sistema para brindar información útil sobre la dinámica del sistema real*” (Bala, Arshad, & Noh, 2017).

La simulación por computadora tiene como propósito predecir situaciones que podrían suscitarse en el futuro, el descubrimiento de nuevas teorías, diagnóstico, toma de decisiones

entre otros *“Todo el proceso de simulación constituye una metodología para el desarrollo teórico, comenzando con suposiciones, construcción de un modelo y terminando con predicciones de la teoría (resultados)”* (Harrison, Zhiang, R, Carroll, & Carley, 2007)

El proceso consiste en modelar un sistema de la vida real mediante el empleo de medios computacionales. Esto, para realizar estudios y análisis sobre la interacción entre las variables (componentes relevantes de un sistema) que intervienen *“Los sistemas deben modelarse y simularse para comprender los sistemas y diseñar estrategias de gestión”* (Bala, Arshad, & Noh, 2017).

Para modelar un sistema por computadora es importante identificar cada uno de los procesos del entorno en el que se desenvuelven las variables de dicho sistema. Para diseñar un modelo por computadora se requiere de una serie de ecuaciones. Las ecuaciones determinan los valores de las variables para modelar procesos y las variables del sistema. Las variables varían con el tiempo. El modelo de simulación por computadora es útil para encontrar respuestas analíticas a suposiciones relativas al comportamiento de un sistema. Un ejemplo de lo anterior son los modelos de simulación de procesos organizacionales (Montana, 2004).

Pese a que, en una simulación no se cuenta con elementos humanos, la simulación cuenta con ciertos beneficios. Harrison, Zhiang, Carroll y Carley (2007), proponen una serie de ventajas que se pueden obtener al modelar con simulación:

- Control perfecto (se elimina la heterogeneidad no observada y las influencias no deseadas)
- Menos restricciones en el tamaño de la muestra
- Capacidad para administrar con mayor complejidad en el diseño experimental
- Capacidad para rastrear con precisión los pasos conductuales que conducen a los resultados de interés (la memoria de la computadora no está sujeta al sesgo de los recuerdos de los sujetos y a otros problemas de reconstrucción de las causas del comportamiento humano y organizacional) (Harrison, Zhiang, R, Carroll, & Carley, 2007)

2.7.2. Tipos de enfoques en modelos de simulación

Un modelo puede ser definido como un objeto susceptible para ser reproducido o replicado. Permite presentar un aspecto de la realidad de tal manera que se pueda describir el comportamiento de un sistema *“Los modelos son representaciones de la realidad o nuestras percepciones de la realidad”* (Brailsford, Churilov, & Dangerfield, 2014).

- Simulación de eventos discretos: La simulación de eventos discretos surge a partir del deseo de diseñar modelos de sistemas de fabricación. No obstante, su campo de aplicación se ha ampliado considerablemente. Algunas de las aplicaciones de modelos de eventos discretos son en la simulación de modelos de transporte, cadenas de suministro entre otros.
- Modelo dinámico de sistemas: Un modelo dinámico de sistemas o de sistemas dinámicos implica identificar las variables que definen el comportamiento del sistema. Posteriormente se hace reaccionar a esas variables entre sí por medio de ecuaciones diferenciales adaptadas *“Los modelos de dinámica de sistemas se centran en modelar el comportamiento del sistema como un todo, en lugar de modelar los comportamientos de los actores dentro del sistema”* (Harrison, Zhiang, R, Carroll, & Carley, 2007).

Un modelo dinámico de sistemas o de sistemas dinámicos está conformado por diversos elementos que interactúan entre sí. En un modelo de este tipo intervienen tanto variables exógenas (son aquellas que afectan al sistema pero que no son provocadas por él mismo) como variables endógenas (variables que afectan al sistema pero que son provocadas por él mismo) *“Sistema descrito por variables que provocan cambio entre sí a lo largo del tiempo”* (Dooley, 2002). Su aplicación consiste en sistemas sociales, gerenciales, económicos, entre otros. Donde el grado de complejidad del sistema es elevado *“La dinámica de sistemas ha desarrollado un marco cada vez más general y poderoso para comprender cómo los proyectos de desarrollo a gran escala a menudo salen mal y requieren medidas de último minuto”* (Black & Repenning, 2001).

El enfoque dinámico modela un sistema, por ejemplo, una organización, como una serie de procesos simples con causalidad circular. Cada uno de dichos procesos suelen tener

construcciones comunes que se intersecan en un conjunto de bucles causales circulares. Los bucles causales pueden ser positivos o negativos dependiendo de la naturaleza de la retroalimentación (Davis, Eisenhardt, & Bingham, 2007). La Tabla 2.1 muestra una breve descripción de lo que incluye un modelo de sistema dinámico, así como algunos autores que han hecho investigaciones en materia de dinámica de sistemas.

Tabla 2.1. Descripción del sistema dinámico. Fuente: (Davis, Eisenhardt, & Bingham, 2007)

Enfoque de simulación	Enfoque	Preguntas comunes de investigación	Supuestos clave	Lógica teórica	Experimentos comunes
Sastry (1997), Sterman, Repenning, & Kofman (1997), Repenning (2002), Rudolph & Repenning (2002)	Comportamiento de un sistema con causalidad y sincronización complejas.	¿Qué condiciones crean la inestabilidad del sistema?	Sistema de intersección, bucles causales circulares Stocks que se acumulan y disipan con el tiempo Flujos que especifican velocidades dentro del sistema	Descripción Entradas a un sistema de bucles causales, stocks y flujos interconectados producen salidas del sistema	Agregar bucles causales Cambiar la media de las tasas de flujo Cambiar la varianza de las tasas de flujo

La modelación se lleva a cabo con el objetivo de obtener una mayor comprensión del entorno complejo de un sistema “*Distinguen cuidadosamente entre los flujos de recursos y los flujos de información lo que significa que dichos modelos pueden usarse para evaluar y diseñar sistemas de información*” (Brailsford, Churilov, & Dangerfield, 2014). Un aspecto muy poderoso de los modelos dinámicos de sistemas es que permiten evaluar aquellas variables blandas que son parte de un sistema real y que llegan a ser fundamentales para comprender a una organización. Por lo tanto, los modelos dinámicos de sistemas pueden ayudar a la comprensión del desempeño y comportamiento de una organización (Stepanovich, 2004). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un ejemplo de un sistema dinámico.

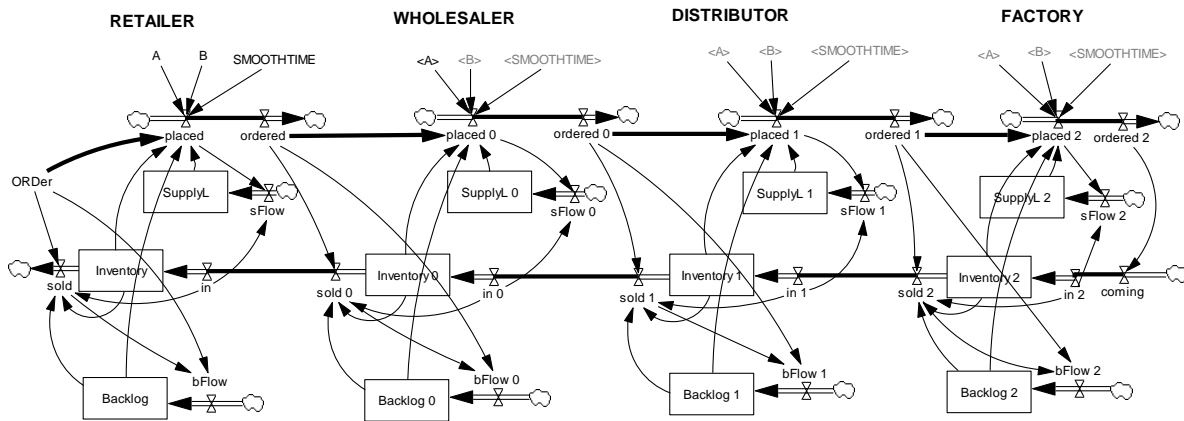


Figura 2.8 Simulación de sistema dinámico “The Beer Game”. Fuente: (Kirkwood, 1998)

Jay Wright Forrester, considerado como el padre de la dinámica de sistemas, la define como el estudio de las características de retroalimentación de información de la actividad industrial para mostrar como la interacción entre la estructura organizacional, ampliación en política y demora en acciones y decisiones influye en el éxito de una organización (Forrester, Principles of Systems, 1968).

Además, Forrester (1968) establece que, mediante la simulación del modelo de un sistema, se puede conocer:

- a) Causa del problema
 - b) Donde surgió el problema
 - c) Política para cambiar la conducta del sistema
 - d) Conocer que otras políticas pueden fallar
 - e) Mejoras en las políticas (Forrester, Principles of Systems, 1968)
- Modelos basados en agentes: Modelo que permite la interacción de ciertos individuos del entorno y con ello analizar los efectos que se producen con su interacción mutua “Los modelos basados en agentes se centran en modelar los comportamientos de los actores adaptativos que conforman un sistema social y que se influyen mutuamente a través de sus interacciones” (Harrison, Zhiang, R, Carroll, & Carley, 2007). La ventaja de usar este tipo de modelado es que permite a su vez examinar la

interdependencia de los elementos del sistema, lo cual ayuda a la toma de decisiones. Cabe mencionar que el comportamiento del sistema no se modela, más bien surge de la interacción de sus elementos simulados. Un modelo basado en agentes es consecuencia de los modelos de inteligencia artificial (Harrison, Zhiang, R, Carroll, & Carley, 2007).

Un modelo autómatas es una simulación simple del modelo basado en agentes. Un modelo autómatas celular modela sistemas naturales, donde se describe una serie masiva de objetos simples que interactúan localmente unos con otros. Fue un sistema descubierto por John Von Neumann en la década de 1950, a través de su teoría de autómatas celulares “*Los modelos de autómatas celulares se basan en un enrejado o cuadrícula, con cada cuadrado en la cuadrícula representando una celda*” (Harrison, Zhiang, R, Carroll, & Carley, 2007).

2.7.3. Metodología de Sistemas Dinámicos

La dinámica de sistemas fue inicialmente conocida como dinámica industrial cuyo autor fue Jay W. Forrester. La dinámica industrial tuvo sus orígenes en la simulación de los problemas que se presentaban en las cadenas de suministro. El primer artículo publicado referente a la simulación de dinámica industrial, donde se aplicaron los conceptos de control de problemas de tipo de gestión, fue en 1958 por Forrester (Brailsford, Churilov, & Dangerfield, 2014).

Barlas (1996) establece los pasos principales a seguir en la metodología de sistemas dinámicos (Barlas, 1996):

- Identificación del problema, utilizando un estudio de dinámica de sistemas
- Conceptualización del modelo
- Formulación del modelo
- Análisis y validación del modelo
- Análisis y diseño de políticas
- Implementación (Barlas, 1996)

Algunas características propuestas por Brailsford, Churilov y Dangerfield (2014) sobre un modelo de sistemas dinámicos son las siguientes:

- Abordan los problemas considerando los agregados (personas, productos entre otros) y no las entidades individuales como en la simulación de eventos discretos o la simulación de agentes individuales.
- Reflejan principalmente que la dinámica de un sistema contiene causas endógenas. El cambio a lo largo del tiempo proviene del límite del sistema debido a los efectos de retroalimentación de la información y las interacciones de los componentes, aunque el estímulo inicial para esas dinámicas puede ser exógeno.
- Distinguen cuidadosamente entre los flujos de recursos y los flujos de información que hacen que esos flujos de recursos aumenten o se agoten. Lo que significa que dichos modelos pueden ser usados para diseñar y evaluar sistemas de información, así como el enfoque más habitual en los sistemas de recursos.
- Se asume que los flujos son continuos y se rigen por ecuaciones diferenciales ordinarias.
- Aunque se incluyen las tasas de flujo, los modelos de sistemas dinámicos se ocupan principalmente del comportamiento de las existencias o acumulaciones en el sistema. Estos se describen mediante ecuaciones integrales (Brailsford, Churilov, & Dangerfield, 2014).

2.7.4. Construcción del modelo de simulación

Para construir un modelo de simulación se debe comenzar con definir el contexto del problema a estudiar. Esto se logra mediante los objetivos de la investigación *“El primer paso en la construcción del modelo es identificar el problema, establecer su límite y establecer los objetivos específicos”* (Bala, Arshad, & Noh, 2017). De igual manera, se deben definir las variables que interactúan dentro y fuera de los límites de un sistema que generan un comportamiento dinámico. A las variables de un sistema se les debe asignar valores iniciales. Debido a que la relación entre las variables se evalúa periódicamente, se dice que el modelo genera los valores para las variables dependiendo de lo que ocurra antes en la simulación. La simulación se debe iniciar en el tiempo cero con los respectivos valores asignados a las

variables. Posteriormente se generan varios eventos y cambios que alteren los valores de las variables del sistema (McMillan & F. Gonzalez, 1977).

La construcción de un modelo puede fundamentarse en la profunda y detallada revisión de la literatura empírica y teórica existente, recopilación de datos cuantitativos y cualitativos, así como en la experiencia y opiniones de personas cercanas al proceso en cuestión (Hirsch, Levine, & Miller, 2007).

Posteriormente es preciso desarrollar la hipótesis dinámica, la cual describe el comportamiento observado en un sistema. La hipótesis dinámica puede ser expresada en términos de diagrama de ciclo causal. El diagrama de ciclo causal no es más que un esquema de los ciclos de retroalimentación que dirigen a dicho sistema. De esta manera, el modelo de simulación basado en el diagrama causal podrá mostrar un comportamiento dinámico del sistema (Bala, Arshad, & Noh, 2017).

2.7.5. Diagrama de Bucle causal

Para representar la interacción entre las variables, así como sus relaciones es preciso diseñar un diagrama que permita una mayor comprensión del sistema que se pretende modelar. Los diagramas causales proporcionan una representación compacta y precisa de las interdependencias y son útiles para describir la estructura de retroalimentación de los sistemas.

2.7.6. Desarrollo del modelo

Para desarrollar el modelo se requiere definir un lenguaje de programación que permita modelar el sistema por medio de la simulación y que la computadora pueda leer. Algunas alternativas para este caso son diseñar el software o comprarlo. Por lo que, en primera instancia se debe analizar el tipo de modelo que se pretende simular para posteriormente encontrar el software que mejor se adapte a las necesidades del modelo (Coss Bu, 2005).

Existen paquetes de software orientados al diseño de modelos de simulación de sistemas dinámicos, por ejemplo, Vensim, Stella, Simulink y Powersim. Éstos tres paquetes de simulación son los principales empleados para el análisis en la dinámica de sistemas. Esto

debido a que permiten que el modelador indique las relaciones entre cada variable del sistema y desarrolle las ecuaciones del modelo para ejecutar la simulación (Hirsch, Levine, & Miller, 2007).

2.7.7. Vensim

Vensim fue desarrollado por Ventana Systems, Inc. de Harvard, Massachusetts con el objetivo de disminuir el tiempo de desarrollo de los modelos de simulación a gran escala y decidió crear su propio lenguaje de programación. Ventana Systems Inc. es una organización que proporciona modelos integrales de un entorno complejo para control estratégico, servicios y entornos de simulación de alta calidad a empresas, escuelas y gobierno. La organización Ventana Systems Inc. fue fundada por el Ing. David Peterson, quien estudio y se graduó como ingeniero eléctrico del MIT (Massachusetts Institute of Technology). Además, ha enseñado en la Escuela de Administración Sloan de MIT y sirve con el personal de Investigación de la Escuela de Ingeniería MIT y en la Escuela de Administración Sloan de MIT. El arquitecto en jefe de la familia de software de simulación Vensim es Bob Eberlein, quien además es vicepresidente de desarrollo de productos de Ventana Systems Inc. (Peterson & Eberlein, 1994).

Vensim es un software de simulación empleado en la industria para mejorar el rendimiento de sistemas reales (Vensim Ventana Systems Inc, 2015). Incluye un método para el seguimiento interactivo del comportamiento a través de enlaces causales en la estructura del modelo. Además, el software proporciona una interfaz de modelado gráfico con diagramas de flujo, stock y bucle causal. Implementa un lenguaje de programación basado en un sistema de ecuaciones. Vensim cuenta con herramientas de análisis que permiten mostrar la estructura del modelo diseñado y el comportamiento de este en la simulación.

Los archivos de modelado con Vensim pueden guardarse en un formato sólo de lectura y distribuirse a otras personas, ejecutándolos por un lector de modelos (Vensim Model Reader).

En 1996 fue lanzada una configuración del software denominada Vensim Personal Learning Edition (Vensim PLE) la cual se encuentra disponible sin cargo para usuarios de la educación

y personas involucradas en el aprendizaje de la dinámica de sistemas (Vensim Ventana Systems Inc, 2015).

Vensim es un software especializado en crear sistemas dinámicos a diferencia de Promodel, que es una herramienta de simulación de eventos discretos, útil para modelar sistemas de producción, servicios, logística entre otros. Promodel facilita la construcción de un modelo, mediante barras de menú y representaciones animadas que muestran las variables introducidas (Brailsford, Churilov, & Dangerfield, 2014).

2.7.8. Verificación y validación del modelo

De acuerdo con Bala, Arshad, & Noh (2017) las pruebas para generar confianza en los modelos de dinámica de sistemas se pueden clasificar en general como:

- Pruebas de estructura
- Pruebas de comportamiento
- Pruebas de implicación de política (Bala, Arshad, & Noh, 2017)

El proceso de verificar el sistema consiste comprobar que el modelo construido cumple con los requisitos del diseño, es decir, que el modelo del sistema simulado se comporte de acuerdo con el sistema del cual se partió para su diseño *“Para validar la utilidad de un modelo, es importante determinar si las cosas que se observan en la realidad también son verdaderas en el modelo”* (Brailsford, Churilov, & Dangerfield, 2014). La principal prueba que debe pasar el modelo de simulación de dinámica de sistemas es que éste pueda reproducir el patrón general de comportamiento que muestra un sistema en la realidad. Esto con el fin de ayudar a quien lo modela a comprender que características del sistema provocan el patrón del comportamiento para poder determinar cómo lidiar con los problemas que crea *“Un modelo válido, adecuadamente detallado y adecuadamente parametrizado siempre se ajustará bastante bien a los datos del mundo real”* (Hirsch, Levine, & Miller, 2007).

Los modelos de simulación de sistemas dinámicos pueden ser usados para ayudar en el diseño de políticas de gestión y control (Bala, Arshad, & Noh, 2017).

La validación es un proceso que consiste en generar confianza en la solidez y utilidad como herramienta de política de un modelo. El talón de Aquiles en la dinámica de sistemas es precisamente la dificultad de crear y reconocer un modelo como válido. Los resultados proporcionados por la simulación de un modelo serán válidos en la medida en que se pruebe su validez. Actualmente, en la literatura, no existe una definición formalmente establecida sobre la validación de un modelo en dinámica de sistemas, dado que las pruebas que se realizan para validar no están documentadas (Peterson & Eberlein, 1994). Por lo anterior, la confianza en un modelo es considerada como el criterio adecuado para validar. Esto debido a que no puede haber ninguna prueba que demuestre que un modelo es absolutamente correcto, es decir, que pueda representar la realidad tal cual es (Senge & Sterman, 1992);**Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Las pruebas son las comparaciones realizadas entre un modelo con respecto a la realidad empírica. En un proceso de validación de un modelo, se recomienda probar primero la validez de su estructura mediante pruebas. Estas son aplicadas hasta que se genere la confianza suficiente para probar la exactitud y precisión del comportamiento de un sistema en el modelo. La confianza se acumula gradualmente a medida que el modelo es sometido a pruebas de estructura y de comportamiento, las cuales debe ir pasando conforme son aplicadas (Senge & Sterman, 1992).

La validez de un modelo varía dependiendo la clasificación a la que pertenece. Por ejemplo, los modelos causal-descriptivo, modelado de dinámica de sistemas, replican la manera en que opera un sistema en la realidad. Por lo tanto, la estructura interna de este tipo de modelos es crucial para su validación, ya que explica y predice el comportamiento de un sistema real. Además de proporcionar sugerencias para cambiar dicho comportamiento (Barlas, 1996)

No existe una prueba única que sea útil para validar un modelo en dinámica de sistemas (Senge & Sterman, 1992). Sin embargo, algunas pruebas son consideradas apropiadas para contribuir a la validación de estructura y comportamiento. A continuación, se mencionan algunas pruebas propuestas por Barlas (1996), que ayudan a validar un modelo de simulación en dinámica de sistemas:

Pruebas de estructura

Esta prueba consiste en comparar la estructura del modelo con la estructura observada en un sistema real a fin de comprobar que no haya contradicciones. Existen pruebas útiles para evaluar la estructura de un modelo, por ejemplo:

- Prueba de estructura empírica: Comparación de la estructura del modelo con la información obtenida de un sistema real.
- Prueba de estructura teórica: Comparación de la estructura del modelo con el conocimiento generalizado sobre un sistema de acuerdo con la literatura.
- Prueba de verificación de parámetros: Comparación de los parámetros elegidos para el modelo correspondientes al conocimiento de los elementos en un sistema real.
- Pruebas de condiciones extremas: Consecuencias inducidas en un modelo que quizás nunca aparezcan en la realidad. Se realizan con el fin de mejorar la región de operación normal de un modelo.
- Pruebas de adecuación de límites: Se basa en la necesidad de desarrollar una hipótesis añadiendo una estructura al modelo diseñado para observar el comportamiento de este. Para que un modelo pase esta prueba no debe ser necesario, con la estructura adicional, desarrollar una hipótesis que explique el nuevo comportamiento.

Pruebas de reproducción de comportamiento

Estas pruebas comprueban que el comportamiento de un modelo coincida con el comportamiento que caracteriza a un sistema real. Es recomendable realizar esta prueba sin ayuda de entradas exógenas que puedan influenciar el comportamiento del modelo diseñado. Algunas pruebas apropiadas para evaluar la reproducción de comportamiento de un modelo son las siguientes:

- Prueba predicción de patrones: Consiste en la observación de la conducta futura que tendrá el modelo diseñado a través de la evaluación de periodos, relaciones de fase, forma u otras características predichas en él.
- Prueba de comportamiento anomalía: Este tipo de prueba puede ser observada desde que se analiza y construye un modelo. Son evidentes cuando un modelo no se comporta como se espera o de acuerdo con un sistema real.
- Pruebas de comportamiento sorpresa: Se comparan las causas que generan un comportamiento inesperado con las causas generadas en un sistema real.
- Prueba de consistencia dimensional: Implica un análisis dimensional sobre las ecuaciones de velocidad de un modelo.
- Prueba de sensibilidad de comportamiento: Evalúa la sensibilidad de un modelo a cambios en los valores de los parámetros. Ayuda a determinar anticipadamente si pasará las demás pruebas.
- Prueba de modos múltiples: Comprueba que un modelo sea capaz de reproducir más de un comportamiento observado en un sistema real. Este tipo de prueba da proporcióna una explicación sobre el porqué cierto comportamiento histórico en un sistema real da paso a otro.

2.8. Diseño de experimentos

Mediante un diseño de experimentos es posible identificar las causas que intervienen cuando se pretende resolver un problema. En un estudio experimental se realizan una serie de pruebas a fin de medir el efecto de una o más variables que afectan a una determinada variable de interés en un sistema o proceso. Cuando se desea mejorar un proceso existen ciertas formas de obtener la información necesaria para lograrlo. Una de estas formas es mediante el monitoreo y otra forma es a través de la experimentación, es decir, realizando alteraciones estratégicas en el proceso o sistema *“El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente permitan responder las interrogantes planteadas”* (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008). Un diseño de experimento es por tanto, una técnica que consiste en la realización de una o varias pruebas que proporcionen información útil, así como evidencia

para resolver un problema o descubrir un hallazgo. Esta técnica fue introducida por Ronald A. Fisher en Inglaterra en la primera mitad del siglo XX (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un proceso, el cual es afectado tanto por factores de control ($X_1, X_2, X_3 \dots X_n$) como por factores de ruido ($Z_1, Z_2, Z_3 \dots Z_n$).

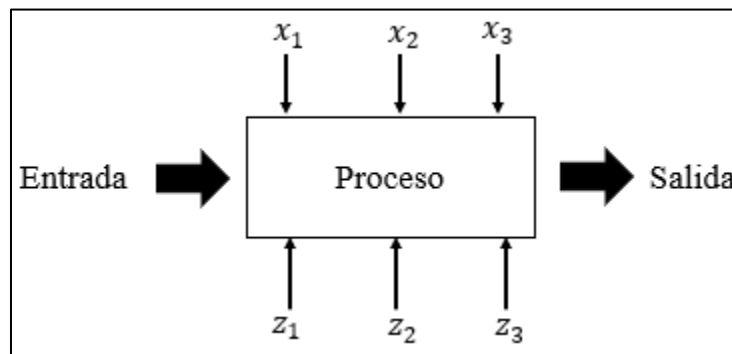


Figura 2.9 Proceso afectado por factores de control y factores de ruido.

Fuente: elaboración propia.

En un proceso intervienen varios tipos de variables o factores. Por medio de estas variables es posible conocer el efecto que se produce o los resultados (salida). La salida del proceso también es conocida como variable de respuesta o característica de calidad y mide el desempeño de un proceso (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008). Los factores de control o variables de entrada son aquellos que usualmente pueden ser manipulados durante el proceso. Mientras que los factores de ruido son variables que no se pueden controlar durante la ejecución de un proceso. No obstante, un factor no controlable puede convertirse en controlable para propósitos de experimentación siempre y cuando se cuente con la tecnología necesaria para hacerlo.

En un diseño de experimentos se asignan diferentes valores o niveles a cada factor de estudio. El conjunto de factores con sus respectivos niveles es llamado diseño o tratamiento (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008). El orden en que se realizan las corridas experimentales o pruebas es aleatorio (Montgomery, 2013).

Cuando la cantidad de efectos de factores a analizar es de dos o más, el uso de diseños factoriales resulta bastante eficiente *“El diseño 2^k es particularmente útil en las primeras etapas del trabajo experimental cuando es probable que se investiguen muchos factores”*, estos diseños son ampliamente utilizados en experimentos de selección de factores (Montgomery , 2013). Para analizar este tipo de experimentos se crea un diseño factorial completo 2^k donde el dos representa los niveles (bajo y alto) y K representa el número de factores. En este tipo de diseños se pueden analizar todas las posibles combinaciones de los factores y así observar sus efectos para identificar a los factores más importantes. Cuando la cantidad de recursos para realizar las pruebas experimentales son limitadas, el diseño factorial puede ser fraccionado y se representa como 2^{n-1} donde n es el número de factores, cada uno con dos niveles *“En el diseño factorial fraccionado se usa la mitad, una cuarta parte o una fracción menor de las 2^k combinaciones de tratamientos”* (Kuehl, 2001).

Por efecto de un factor, se entiende que es el cambio que se produce en una respuesta de interés dado un cambio en el nivel del mismo factor. Un efecto principal se refiere al cambio producido en la respuesta por los principales factores de interés en un experimento. Se denomina interacción a la falla de un factor de producir el mismo cambio en la variable de respuesta a diferentes niveles de otro factor *“El número de grados de libertad para cualquier efecto principal es el número de niveles del factor menos uno y el número de grados de libertad para una interacción es el producto del número de grados de libertad asociados a los componentes individuales de la interacción”* (Montgomery , 2013).

2.9. Paradoja de la mejora de calidad

Analog Devices, Inc. (ADI) es un fabricante líder de circuitos integrados especializados para ser utilizados en discos de computadora, discos compactos, entre otros. Analog cuenta con un total de 5200 empleados, así como operaciones y ventas a nivel internacional. En 1987, inició un amplio programa de Gestión Total de la Calidad (TQM) (Kofman, Repenning, & Sterman, 1997). Dicho programa fue dirigido por su fundador Ray Stata. Analog desarrolló estándares para la fabricación y distribución de productos y evaluó los progresos. Fue evidente su notable mejora en calidad en el año de 1990, todo marchaba a la perfección, ya que el rendimiento de los semiconductores se había duplicado y el tiempo de fabricación se

redujo para ese entonces. Sin embargo, el precio de las acciones de Analog decayó sin explicación alguna, lo cual indicó que la empresa no mejoró financieramente después de implementar el programa. Un estudio realizado por Kofman, Repenning y Sterman en 1997, explora precisamente las causas y consecuencias sobre dicho suceso descrito anteriormente mediante el uso de la dinámica de sistemas.

Dado que se ha demostrado en diversos estudios la eficacia de los programas de Gestión de Calidad Total, se indujo que los programas arrojan ciertos efectos colaterales que no son previstos por las organizaciones, tal fue el caso de Analog Devices, Inc.

El dilema de Analog se originó a partir de la rápida mejora que lograron en la operación de fabricación en comparación con la lentitud de la mejora en actividades que pueden generar nueva demanda. Esto incluye identificar nuevas oportunidades de mercado, evaluar las necesidades de los clientes, desarrollar nuevos productos y mejorar los canales de distribución, dicha mejora fue la causante de los efectos secundarios originados. Tales efectos fueron el aumento excesivo de capacidad, a tal grado de ser incluso mayor que la demanda. Otro efecto secundario fue la caída de los costos por unidad, dado el progreso de las operaciones de fabricación, puesto que los costos indirectos de los productos eran más altos *“Un resultado central del modelo es el impacto desequilibrado de la actividad de mejora en diferentes partes de la organización.”* (Kofman, Repenning, & Sterman, 1997)

Sin embargo, Analog Devices no es la única paradoja surgida por las mejoras de calidad, *“The Wallace Co., ganador del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en 1990, sufrió grandes pérdidas poco después de ganar el premio”* (Kofman, Repenning, & Sterman, 1997). La empresa se declaró en bancarrota en el año de 1991, después de haber despedido empleados para reducir costos.

2.10. Estado del arte

El trabajo realizado por Honarpour, Jusoh, & Md Nor (2016) buscó examinar la relación existente entre las prácticas del Sistema de Gestión de la Calidad (TQM) y la Gestión del Conocimiento (KM). El análisis se realizó mediante la aplicación de una encuesta a 190 directores de I+D. Con el fin de evaluar la confiabilidad de los resultados se utilizó el análisis factorial. De acuerdo con los resultados obtenidos de dicho estudio, se determinó una relación positiva entre las prácticas de Gestión de la Calidad y la Gestión del conocimiento. Se dedujo un impacto positivo en la innovación de procesos y productos. Pese a los hallazgos contradictorios que refutan la influencia positiva de las prácticas del Sistema de Gestión de Calidad en la innovación, dicho artículo con base al estudio realizado destacó la importancia y la contribución de un Sistema de Gestión de Calidad correctamente implementado, así como de la apropiada Gestión del Conocimiento en el proceso de innovación en las organizaciones.

Por otro lado, en el artículo publicado por Obeidat, Hashem, Alansari, Tarhini, & Al-Salti (2016) se resaltaron los factores más influyentes para la Gestión del Conocimiento en las prácticas de la Gestión de la Calidad Total. Entre los factores más relevantes, se encontraron los siguientes: la adquisición del conocimiento, almacenamiento y transferencia del conocimiento, y por último la aplicación del conocimiento. Entre las prácticas de Gestión de Calidad se describieron: la satisfacción del cliente, mejora continua, compromiso de la alta dirección y equipos de trabajo. Los autores aseguraron que una correcta adopción y ejecución del conocimiento, así como del desarrollo de las prácticas de Gestión de Calidad pueden ser el recurso determinante para lograr el éxito en las organizaciones. Para ello, concluyeron los autores que los líderes de cada organización deben someterse a la ardua tarea de alentar a sus trabajadores a realizar en conjunto las acciones necesarias que conduzcan al logro de las metas organizacionales.

Sabbaghaa, Ab Rahmanb, Ismailc, & Hussaind (2016) redactaron en el artículo que, en consecuencia, a la crisis de un mercado dinámico y cambiante, la industria automotriz para incrementar y garantizar lo mayor posible la satisfacción del cliente, desarrolló el servicio postventa. El servicio postventa incluía servicios adicionales para optimizar el ciclo de vida

del producto adquirido. Los servicios adicionales que se incluyeron son: mantenimiento, reparación (en caso de daño), garantía, entre otros. Siendo la industria automotriz una de las principales industrias a nivel mundial debido a su rentabilidad, el servicio postventa además de buscar la satisfacción de los clientes, buscó generar ingresos y mantener el auge de la empresa. Para corroborar que el objetivo de la ejecución de dicho servicio logrará su cometido fue necesario medir el trabajo realizado. Las mediciones se efectuaron mediante ciertos indicadores que medían el rendimiento del servicio considerando los patrones de calidad previamente establecidos en los Sistemas de Gestión de Calidad. En conclusión, el mercado global en el que se encuentra la industria automotriz le ha permitido aumentar el nivel de demanda para la cual, el papel que juega el servicio postventa mostró altos niveles de calidad garantizando un futuro prometedor para las industrias automotrices. Los autores también destacaron la importancia de la calidad como área factible para el desarrollo de nuevos modelos de servicio.

O'Neill, Sohal, & Teng (2016) analizaron a través de un estudio realizado a una empresa manufacturera australiana como la calidad aun no es considerada del todo como clave para el rendimiento de las operaciones. Por lo tanto, el objetivo del artículo mediante el estudio realizado fue demostrar si las prácticas de Gestión de Calidad realmente influían positivamente en el desempeño financiero de una empresa. En el artículo los autores hicieron mención acerca del uso de índices de productividad para medir el vínculo entre las prácticas de Gestión de Calidad y el desempeño financiero de la empresa. Deming, en su filosofía sobre calidad determina que cuando una empresa mejora su calidad obtiene menos errores y en consecuencia sus costos disminuyen puesto que, existen menos retrasos. Por lo tanto, el efecto negativo que pudiera suscitarse en empresas donde se haya implementado un Sistema de Gestión de Calidad puede deberse a una inapropiada ejecución, ya sea por el tipo de organización, el momento o por las prácticas incorrectamente implementadas.

El artículo publicado en el 2016 por Dominik Zimon "*Influence of quality management system on improving processes in small and medium-sized organizations*" presentó los resultados del impacto de implementar un Sistema de Gestión de Calidad de la ISO 9001 en pequeñas y medianas organizaciones para mejorar las relaciones con los clientes y optimizar procesos de gestión. De igual manera en el estudio realizado se analizaron los posibles

problemas asociados al Sistema de Gestión de Calidad mediante la aplicación de encuestas. El estudio se realizó en marzo y abril del 2014. En el artículo se hizo mención sobre los costos en los que incurren las organizaciones al implementar un Sistema de Gestión de Calidad entre los cuales se encuentran: los costos de consultoría, evaluación y auditoría para la certificación, además de la tarifa de emitir el certificado. En el estudio se observó que la implementación del sistema realiza una contribución considerable para lograr los objetivos deseados. El autor concluyó que el funcionamiento de un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo con la ISO 9001 depende de las necesidades reales de la organización que decide implementar el sistema. El resultado de las encuestas arroja que la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad tiene un impacto positivo en la gestión de la organización. El Sistema de Gestión de Calidad estandarizado optimiza tanto la eficiencia de la organización como la eficiencia de la gestión de los recursos disponibles.

En cada uno de los artículos publicados se pudo observar que se relacionan con los estándares de la familia ISO 9000, así como con las prácticas de Gestión de Calidad y la Gestión del Conocimiento. Se hizo énfasis sobre el impacto que tienen las prácticas de Calidad y Gestión del Conocimiento en el rendimiento de las organizaciones. De igual manera algunos autores comprobaron que un Sistema de Gestión de Calidad, con la correcta implementación y seguimiento de las prácticas, afecta positivamente los resultados finales. Los aportes de cada uno de los estudios son muy apreciables y enriquecedores para futuras investigaciones relativas a la Calidad. Sin embargo, es necesario resaltar la importancia de analizar la efectividad de los principios de calidad integrados en un Sistema de Gestión de Calidad, ya que son la clave para que dicho programa funcione. Comprobando que su aplicación en las organizaciones sea favorable y en dirección al éxito. Utilizando como herramienta para el análisis la simulación de sistemas dinámicos.

3 Método de investigación

3.1. Descripción de las etapas del método

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el método de investigación, el cual está basado en los estudios realizados por Repenning (1997) y Harrison (2007).

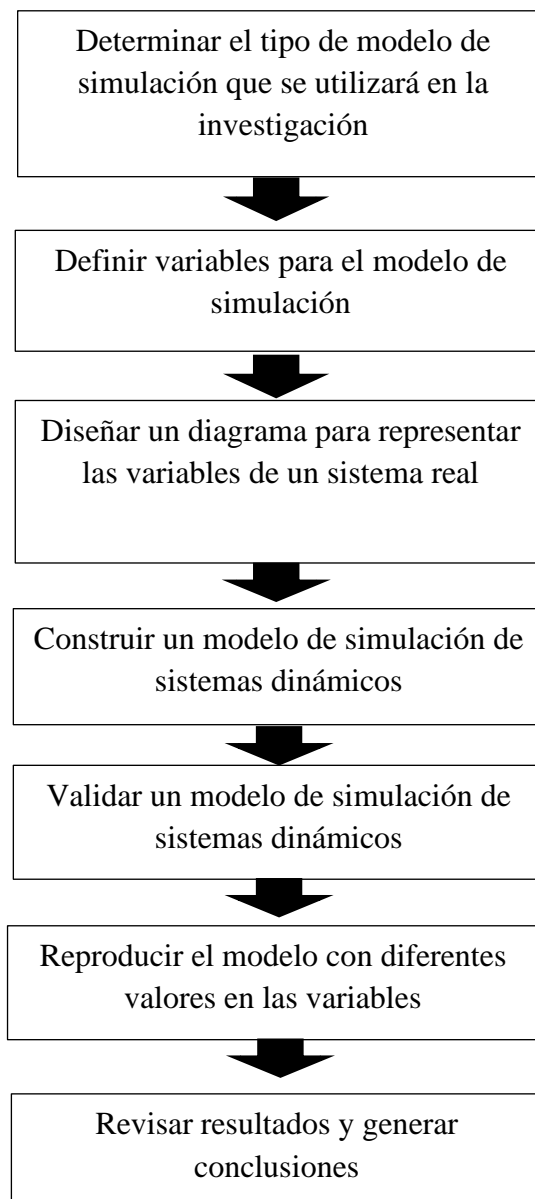


Figura 3.1 Método de Investigación.

A continuación, se describen detalladamente las etapas del método de investigación.

3.1.1. Determinar el tipo de modelo de simulación que se utilizará en la investigación

A partir de un análisis de las características de un sistema, se determinó el tipo de modelo de simulación. Las características del sistema de importancia son decisiones para alcanzar objetivos, estas decisiones dependen de información que está cambiando en el tiempo. La información es sobre flujos de materiales y de información que se está modificando en el tiempo.

Estas características las modela un sistema dinámico permitiendo ver el comportamiento de alguna de las variables de interés ante diferentes situaciones. En este trabajo el interés está en el enfoque de la organización con decisiones basadas en procesos y en el enfoque sistémico.

Por lo tanto, se escogió un sistema dinámico, representando decisiones con objetivos, niveles, tasas, flujos de información y de materiales.

3.1.2. Definir las variables del modelo de simulación

En esta etapa se analizó el comportamiento de las variables del sistema que intervienen en el modelo de simulación a fin de identificar las variables que ocasionarán un efecto importante en la meta establecida para el modelo. Debido que se analizarán dos enfoques, un enfoque de procesos y un enfoque sistémico en una organización mediante la simulación, las variables serán las mismas, alterando únicamente el enfoque de la toma de decisiones.

Las variables o parámetros elegidos para el modelo coinciden con los elementos conocidos de un sistema real. Se partió del diseño de un proceso comercial de una organización. De acuerdo con lo descrito del sistema real, están involucradas algunas de las siguientes variables:

- Nivel auxiliar-información: Número de inspectores necesarios de acuerdo con la cantidad de quejas

- Flujo material: Inspectores en capacitación para aplicar pruebas a unidades producidas
- Nivel: Inspectores capacitados
- Flujo de información: Aplicación de pruebas a unidades producidas
- Flujo de información: Calidad del producto percibida por los clientes
- Flujo de información: Número de quejas (durante 120 meses medidas en semanas)
- Flujo de información: Promedio de quejas
- Tasa de pedido
- Tasa promedio de pedido

3.1.3. Diseñar el diagrama para representar las variables de un sistema real

En esta etapa se diseñó un diagrama de tipo causal donde se representaron las variables del sistema real y su interacción a fin de transferirlo al software Vensim y efectuar la simulación para el análisis. Para diseñar el diagrama fue necesario identificar cómo interactúa cada una de las variables en dicho sistema, es decir, como se comportó una variable en relación con otra y con ello observar su comportamiento en la simulación.

Para la construcción del modelo se partió de la teoría establecida en los trabajos realizados por Sterman, J. D., Repenning, N. P., y Kofman, F (1997), Repenning, N. P., & Sterman, J. D. (2001), Repenning, N. P. (2002), Repenning, N. P., & Sterman, J. D. (2002) y Harrison et al., (1997) de sistemas dinámicos.

3.1.4. Construir un modelo de simulación de sistemas dinámicos

Se diseñó un modelo de simulación del sistema organizacional en el software Vensim. Para ello fue necesario el diagrama causal que muestra la relación entre las variables del sistema real. Se asignaron valores iniciales a las variables previamente establecidos y se modificaron dichos valores mediante un diseño de experimentos.

A continuación, se presentan las figuras 3.2 y 3.3 que muestran los diagramas y modelos de sistemas dinámicos obtenidos en la etapa anterior. La **¡Error! No se encuentra el origen de**

la referencia. representa el modelo bajo el enfoque de procesos y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa el modelo bajo el enfoque sistémico.

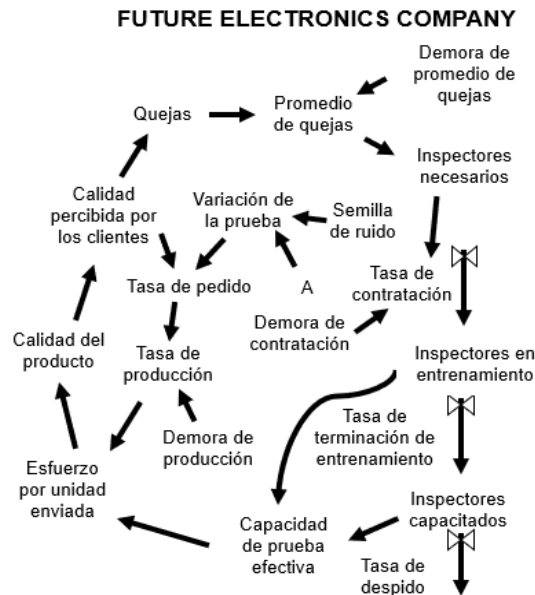


Figura 3.2 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque de procesos. Fuente: (Kirkwood, 1998)



Figura 3.3 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque sistémico. Fuente: (Kirkwood, 1998)

3.1.5. Validar un modelo de simulación de sistemas dinámicos

A continuación, se presenta un método de validación para sistemas dinámicos basado en Barlas (1996). Dichas pruebas son consideradas por varios autores, como apropiadas para evaluar la validez de modelos en dinámica de sistemas debido a que no existe en la literatura una definición formal relativa a la validación de un modelo. En el diagrama de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se describe el orden en el cual se aplicaron las pruebas.

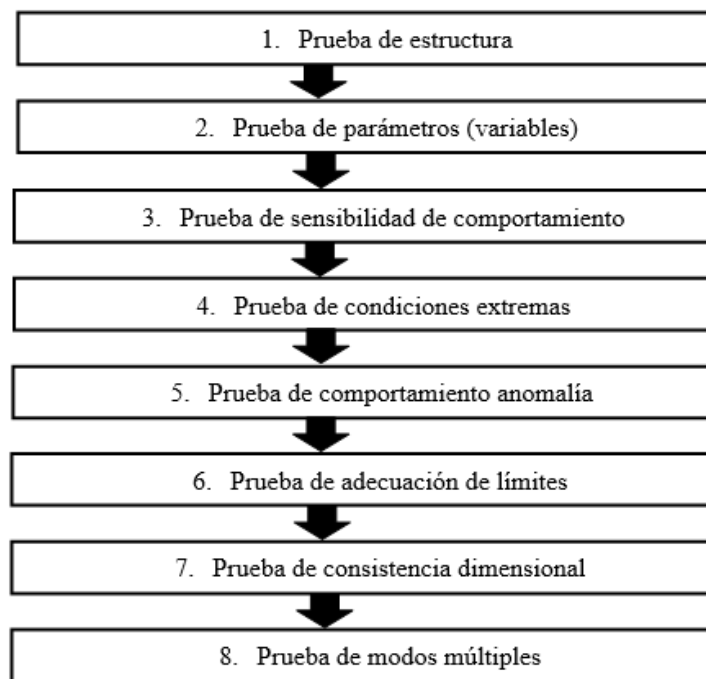


Figura 3.4 Método de validación de sistemas dinámicos.

En esta etapa se tomaron mediciones de la capacidad en que el modelo reproduce un comportamiento ya conocido. Posteriormente, se realizaron pruebas de lógica como parte de la validación del modelo. Asimismo, se evaluó el comportamiento de las variables definidas en el sistema.

Se eligió el modelo con el principio bajo el enfoque de procesos para aplicar cada una de las pruebas y validar tanto su estructura como su comportamiento (ver

Figura 3.2 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque de procesos.

Fuente:

). La estructura del modelo y los parámetros se compararon con el conocimiento sobre la descripción del sistema real.

Se aplicaron una serie de pruebas para generar confianza en los modelos y garantizar la validez de los resultados. Para generar diferentes escenarios y evaluar cada prueba, se llevó a cabo un diseño de experimentos. Para crear los diseños experimentales se utilizó el software Design Expert. A fin de identificar factores importantes se analizaron primero aquellas variables que, al sufrir algunas alteraciones en sus valores, producían un comportamiento diferente en la variable de respuesta seleccionada. El modelo fue reproducido con diferentes valores en las variables de acuerdo con las corridas del diseño de experimentos. Posteriormente se tomaron una serie de mediciones mediante criterios de comparación para un análisis. Una vez generados los resultados de las mediciones se procedió a verificar la información obtenida.

3.1.6. Revisar resultados y generar conclusiones

El enfoque del modelo de procesos está diseñado de tal forma que la meta sea disminuir el número de quejas tal como se muestra en la

Figura 3.2 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque de procesos.

Fuente:

. El segundo modelo se enfoca en la tasa de pedido, es decir, su meta es aumentar la demanda (obsérvese la

Figura 3.3 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque sistémico.

Fuente:

). Debido a que la meta de toda organización creada bajo un principio económico es generar la mayor cantidad de ingresos y ser rentable, los criterios para comparar fueron el acumulado de órdenes de venta o facturación y la estabilidad de la demanda.

Se interpretaron los resultados generados a través del modelo de simulación y se formularon las conclusiones relativas al análisis de la aplicación de los principios de calidad en la efectividad organizacional mediante los criterios de comparación.

4 Resultados

Se construyeron y propusieron dos modelos de simulación de sistemas dinámicos del proceso comercial de una organización para verificar que se aumente su efectividad bajo el efecto de aplicar los principios de calidad. Los modelos de simulación obtenidos se muestran en las figuras 3.2 y 3.3, un modelo basado en el principio del enfoque de procesos y otro modelo con el principio bajo el enfoque sistémico respectivamente.

Los modelos de simulación representan una problemática que enfrenta una empresa fabricante de circuitos electrónicos. En dicha empresa solo el 30% o 50% de unidades producidas resultan ser útiles y generadoras de ingresos. Las unidades restantes son devueltas por los clientes debido a la mala calidad percibida. Cuando los clientes devuelven las unidades defectuosas se generan quejas. Cada que el nivel de quejas aumenta, por políticas de la empresa, se exige contratar inspectores para aumentar el nivel de supervisión de las unidades producidas antes de ser enviadas a los clientes. Para esto, es necesario que los inspectores que son contratados aprendan el procedimiento de supervisión de unidades. Dicho procedimiento le demora a la empresa tres meses. Al final de la capacitación los inspectores son considerados entrenados para realizar la operación de supervisión. Los inspectores en capacitación son entrenados por inspectores que poseen más tiempo realizando la operación de supervisión en la empresa. Por lo que, los inspectores experimentados, según las instrucciones de la empresa, deben pasar la mitad del tiempo capacitando a los nuevos inspectores. Lo anterior ocasiona que el tiempo de supervisión de las unidades se reduzca debido a que les consume tiempo a los inspectores experimentados capacitar a los nuevos. El tiempo dedicado a la supervisión de las unidades depende del volumen de producción (Kirkwood, 1998).

Se validó el modelo de la

Figura 3.2 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque de procesos.

Fuente:

para llevar a cabo el análisis de acuerdo con los criterios de validación de Barlas (1996). En la literatura se describe que la organización es susceptible a la insatisfacción de los clientes por productos defectuosos, lo que la lleva a contratar inspectores o supervisores. La contratación de inspectores se lleva a cabo al notar un aumento en el promedio de quejas. Con los inspectores se pretende aumentar la minuciosidad en el procedimiento de prueba de las unidades producidas. Las quejas de los clientes son emitidas como veredicto a la calidad percibida, tal como se observa en el modelo de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** De esta manera, se corrobora la veracidad en la estructura que representa el modelo para la organización, dado que el modelo está basado en un proceso para toma de decisiones reales, en este caso para un proceso comercial.

En el diseño de experimentos realizado para el modelo bajo el enfoque de procesos resultaron seis factores importantes. Por lo que, se realizó un diseño de experimentos de eliminación de factores, esto para descartar los factores de menor importancia en el modelo. Los resultados de dicho experimento permitieron descartar factores no significativos. Posteriormente se realizó un segundo experimento en el que se incluyeron los factores que resultaron significativos en el experimento de eliminación. Esto con el objetivo de encontrar los límites del modelo y así efectuar una comparación de ambos modelos empleando los mismos factores y niveles para efectos de validación.

El enfoque del modelo de la

Figura 3.2 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque de procesos.

Fuente:

se centra en la reducción de quejas. Por lo tanto, se tomó como variable de respuesta el número de quejas y mediante la prueba de comportamiento se identificaron en el modelo los factores que afectan a dicha variable. El resultado de la prueba de comportamiento mostró los factores que se presentan en la Tabla 4.1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** con sus respectivos niveles. Dichos factores se utilizaron posteriormente para diseñar un experimento de eliminación.

Tabla 4.1 Factores seleccionados para el experimento de eliminación

	Name	Units	Type	Low	High
A:	Demora Queja		Numeric	1	3
B:	Demora Produ		Numeric	2	4
C:	Demora Contra		Numeric	1	3
D:	Cap. De Prueb		Numeric	0.2	0.8
E:	Periodo De Ent		Numeric	2	4
F:	Tasa De Desp		Numeric	30	40

El experimento de eliminación se llevó a cabo para seleccionar únicamente aquellos factores que tuvieran efectos significativos en la variable de respuesta. Se utilizó un diseño factorial fraccionado 2^{6-2} . Por cada corrida del diseño se realizaron simulaciones en el modelo. Se obtuvo el número de quejas total durante un periodo de 120 meses y se registró en la variable de respuesta. El resultado del experimento mostró que los factores Demora en producción y Tasa de pedido no son significativos. Con este experimento se comprobó que el modelo es sensible a cambios en los valores de los factores, ya que muestra un comportamiento diferente cada vez que se modifican sus valores. Además, se comprobó que no muestra un comportamiento anormal o inesperado cuando se modifican los valores, es decir, el modelo genera un comportamiento aceptable de acuerdo con los valores que se alteran.

Se llevó a cabo un segundo experimento en el que se incluyeron los factores que resultaron significativos en el experimento anterior, esto con el objetivo de hallar las condiciones extremas y límites del modelo. Se utilizó un diseño factorial 2^4 con puntos centrales con el propósito de conocer si existe la presencia de curvatura en la variable de respuesta. El resultado de este experimento mostró que la curvatura fue no significativa. También se encontró que bajo ciertos niveles, en las corridas del experimento, resultan cantidades elevadas en el número de quejas, de tal forma que la información que brinda el modelo no es congruente con la realidad (ver Tabla 4.2). Dichas cantidades se descartaron para poder generar una gráfica de contorno que permitiera observar los límites en los que el modelo puede simular un comportamiento que explique situaciones de la realidad.

Tabla 4.2. Valores extremos del modelo en el experimento de cuatro factores

C5	C6	C7	C8	C9
Dem Quejas	Dem Contratación	Cap de Prueba	Periodo Entrenamiento	No Quejas
2	2	1.1	3	3791023
3	1	0.8	4	29771
1	1	0.8	4	23341

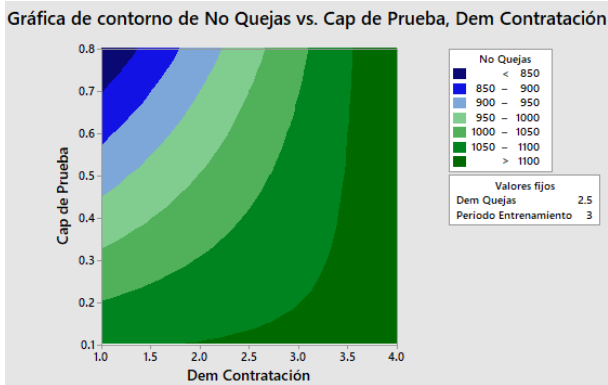


Figura 4.1 Gráfica de contorno para factores con efectos principales.

se muestra una gráfica de contorno generada por Minitab. Se observa que los valores mayores a 1100 quejas están fuera de la región de aceptación, lo que indica las condiciones extremas en las que el modelo deja de predecir situaciones reales. Los límites del modelo se encuentran en los niveles 2.0 para Demora de Contratación y 0.8 para Capacidad de Prueba. Con este procedimiento se pudo analizar la prueba de condiciones extremas y adecuación de límites para el modelo.

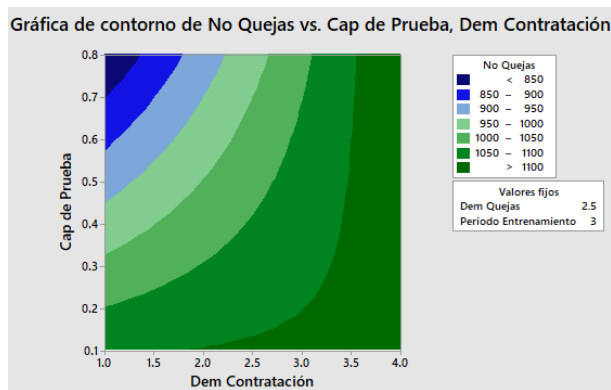


Figura 4.1 Gráfica de contorno para factores con efectos principales.

Al cambiar los valores de los factores de acuerdo con los niveles de las corridas de los experimentos el modelo mostró un comportamiento que permitió identificar los factores con

efecto significativo en la variable de respuesta. Por lo tanto, la prueba de consistencia dimensional se cumple en el modelo.

Finalmente, para evaluar la prueba de modos múltiples, los factores que resultaron significativos en el experimento anterior se emplearon con los mismos niveles en el modelo con enfoque sistémico mostrado en la

Figura 3.3 Modelo de simulación de "Future Electronics Company" con enfoque sistémico.

Fuente:

. Con ello, fue posible analizar el efecto que producen en la variable de respuesta del modelo, en este caso la variable de respuesta es la Tasa de pedido o demanda. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran dos gráficas. La gráfica de la figura 4.2a se obtuvo al simular el modelo con los valores estándar; es decir, valores preestablecidos por el autor. Se observa que las oscilaciones se presentan al principio de los meses y posteriormente se nivela por lo que, el sistema permanece aparentemente estable a lo largo del tiempo. La gráfica de la figura 4.2b se obtuvo al simular el modelo con los factores y niveles que resultaron ser significativos en el modelo con enfoque de procesos. En esta gráfica se observa que las oscilaciones disminuyen en la demanda a lo largo del periodo.

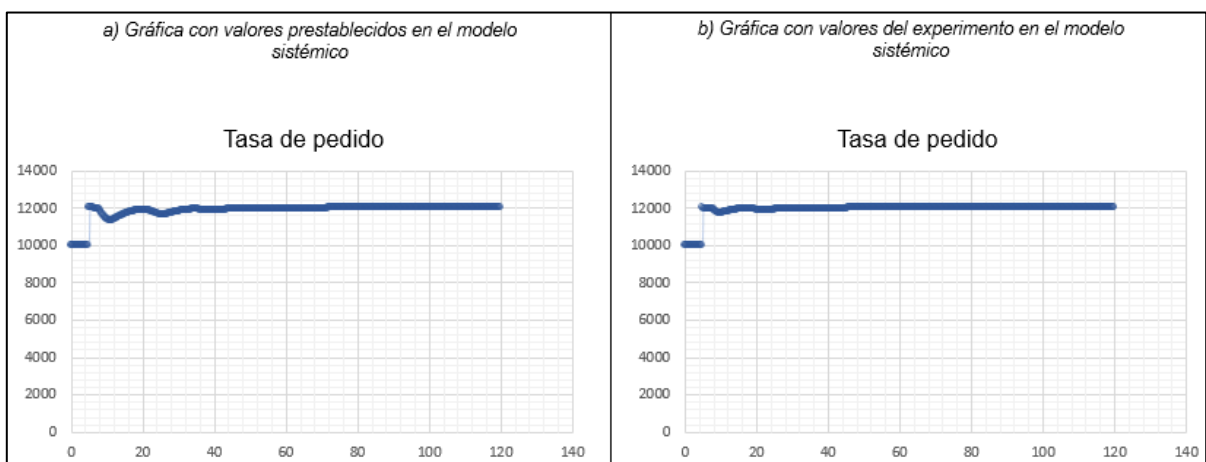


Figura 4.2 Gráficas de demanda en ambos modelos.

Se estudiaron y se seleccionaron criterios de comparación relacionados con los principios de calidad para medir el efecto de aplicar los principios (procesos y sistémico) en ambos

modelos de simulación de sistemas dinámicos. Los criterios de comparación fueron la cantidad de pedido y la estabilidad en la cantidad de pedido o demanda. Una vez que se llevó a cabo la validación, se midió la efectividad de cada enfoque descrito anteriormente para analizar su efecto bajo los criterios seleccionados. Para ello se realizó una simulación con los valores estándares previamente establecidos en ambos modelos y se capturaron los datos generados en la variable de respuesta (acumulación de pedido) para observar su comportamiento. Los resultados se resumen una gráfica, la cual es presentada a continuación.

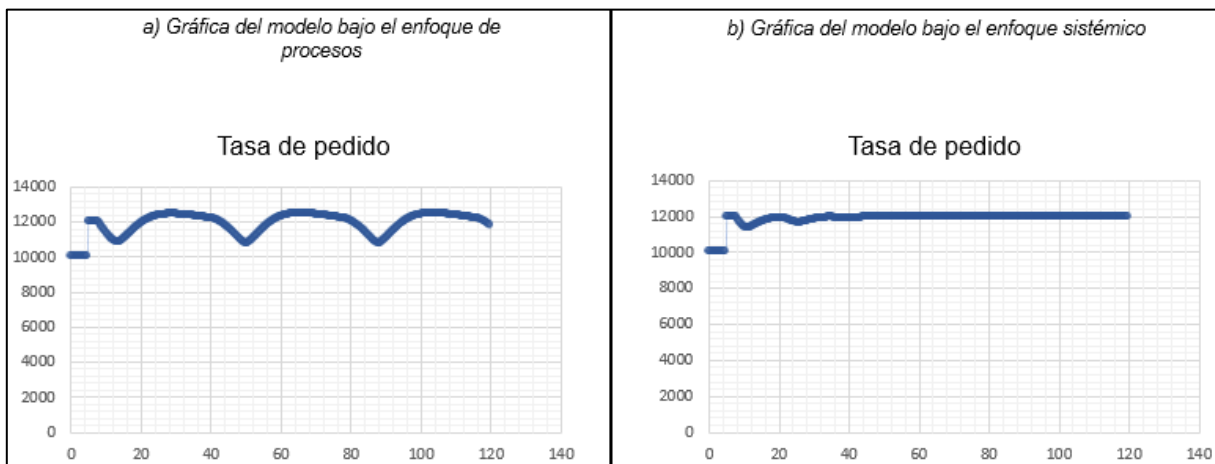


Figura 4.3 Comparación de los modelos de simulación.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la comparación bajo los criterios del acumulado de órdenes de venta o pedido y estabilidad de la demanda, después de realizar la simulación en el modelo bajo el enfoque de procesos y en el modelo bajo el enfoque sistémico. En la gráfica de la figura 4.3a se observa la existencia de oscilaciones en la tasa de pedido a lo largo del periodo. Cabe destacar que el modelo bajo el enfoque de procesos tiene como objetivo reducir el número de quejas por lo que un aumento en esta variable aumenta la necesidad de contratar inspectores para el proceso de supervisión de las unidades producidas. Esto le ocasiona a la organización, inversión en capacitación para los nuevos inspectores, así como una disminución en el tiempo de supervisión de las unidades producidas, esto con el riesgo de enviar unidades defectuosas y aumentar el número de quejas. Por otro lado, en la gráfica de la figura 4.3b se muestra que la demanda mantiene cierta estabilidad. Mantener una estabilidad en la demanda le permite a la organización garantizar ingresos de forma constante. Por lo tanto, le será posible invertir parte de esos

ingresos en otros procesos que a largo plazo incrementen sus ganancias. Por ejemplo, en actividades generadoras de demanda tales como la innovación y el desarrollo de nuevos productos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se demuestra que el rendimiento del proceso comercial logró un mayor rendimiento bajo una meta global, sistémica. Esto debido a que se obtuvo una mayor y estabilizada demanda. Esto es beneficioso para la organización ya que, a largo plazo, se mantendrá un nivel de ventas constante y no tendrá que invertir en medidas de corrección en sus procesos. Mientras que el proceso comercial bajo un enfoque de procesos basando las decisiones con una meta local generó oscilaciones y disminuyó la demanda. Lo anterior perjudica considerablemente a la organización ya que, al caer las ventas deberá invertir en medidas de calidad para aumentar las órdenes de pedido de sus productos y así lograr la supervivencia dentro del mercado. Mediante el análisis comparativo realizado se demostró que manteniendo una visión sistémica es posible mejorar el rendimiento de una organización. Los resultados que se observaron muestran que bajo el principio del enfoque sistémico la demanda se mantuvo estable. Además, mediante el uso de la simulación se demostraron los efectos positivos que resultan al desarrollar una visión sistémica.

El enfoque sistémico busca que cada uno de los componentes del sistema se visualice como parte de un todo y no de manera aislada; mientras que un enfoque de procesos implica visualizar la estructura de una organización mediante procesos marcados por objetivos individuales. Sin embargo, seguir la suposición anterior no siempre tiene consecuencias positivas en los resultados de las metas.

5 Conclusiones

Por medio de los dos modelos de simulación de sistemas dinámicos presentados y analizados fue posible demostrar que el rendimiento de un proceso comercial de una organización bajo un enfoque sistémico fue mucho mejor con respecto al enfoque de procesos. Esto debido a que, el modelo que basa sus decisiones en una meta sistémica permitió mantener cierta

estabilidad en el sistema, lo cual, a largo plazo, es conveniente para una organización. Cabe destacar que cuando se desarrolla una visión sistémica, las posibilidades de mantener controlado un conjunto de procesos incrementan, en lugar de asumir cada proceso de forma aislada y atacarlo por separado. Por lo que, los tomadores de decisiones o líderes de las organizaciones deben esforzarse por comprender las complejas dinámicas organizacionales a las que se enfrentan, dejando a un lado el afán por centrar sus metas en mantener una estructura localmente controlada sin prevenir los efectos colaterales que ello implica. Desarrollar una perspectiva sistémica es sin lugar a duda particularmente difícil, debido a la idea sumamente arraigada de corregir únicamente errores evidentes y tangibles. Sin embargo, la probabilidad de que un problema resuelto de esta forma persista es indudablemente alta.

Debido a que, probar teorías realizando experimentos en organizaciones reales puede ser costoso, por medio del uso de la simulación como herramienta de análisis fue posible probar una teoría de calidad y demostrar así la necesidad de comprender la naturaleza de la complejidad que se aborda en una organización, bajo un enfoque sistémico.

Numerosos estudios han demostrado la eficacia de usar la simulación como herramienta para demostrar teorías de calidad, entre ellos se encuentra el caso de la paradoja de Analog Devices analizado por Fred Kofman, Nelson Repenning y John D. Sterman (1994). En dicho estudio se evaluó la importancia de desarrollar una visión sistémica por encima de una visión local o un enfoque sólo de procesos para la toma de decisiones. Una organización que busca una ventaja competitiva usando herramientas de mejora de procesos tal como la TQM y la reingeniería, suele encontrar extremadamente difícil mantener dichos programas de mejora de procesos que inicialmente se muestran exitosos. A pesar de que los programas de mejora de procesos luchan por mantener la mejora continua terminan por empeorar el rendimiento, causando despido, baja moral y colapso del compromiso de los empleados con la mejora continua. Este fenómeno se conoce como “La paradoja de la mejora”.

El caso se analizó mediante la construcción de una historia detallada sobre la TQM en Analog. Posteriormente se desarrolló un modelo de simulación formal y un entorno competitivo para probar hipótesis y explorar políticas sobre el caso de la paradora. Para formular el modelo y las reglas de decisión se partió de sistemas dinámicos previamente

establecidos por la empresa, así como estudios experimentales de toma de decisiones gerenciales. Algunas de las variables endógenas del modelo son: pedidos, envíos, producción, inventario de productos terminados, inventario en proceso entre otras. De las variables exógenas se encuentran: índice de precios, índice de costos e índice macroeconómico de la demanda. Las entradas endógenas fueron remplazadas con los datos históricos correspondientes. La estructura y los parámetros del modelo se validaron mediante reuniones con ejecutivos y gerentes clave para el desarrollo de la TQM en Analog. Mientras que la robustez del modelo se validó a través de pruebas de condiciones extremas. Además, se verificó la capacidad del modelo para replicar datos. Se consideraron medidas de bondad de ajuste, incluido el error porcentual absoluto para analizar datos.

Los resultados del estudio mediante la simulación comprobaron que los efectos secundarios surgieron a partir de la interacción de la TQM con los sistemas contables de la empresa. Dicha mejora desequilibrada se debió a que el ritmo de las actividades generadoras de demanda fue lento en comparación con el exceso de capacidad generado por Analog como resultado de una reducción dramática de defectos. Un proceso con baja complejidad técnica y organizativa tiende a mejorar más rápidamente que un proceso con alta complejidad. Por ejemplo, el desarrollo del producto es una actividad compleja y no suele mejorar rápidamente. Un gerente de una organización necesita adoptar nuevas técnicas de mejora de procesos para reducir dicha complejidad.

Como conclusión los autores sugieren que la TQM surge de la creencia de que el mundo puede descomponerse en procesos independientes que generen resultados independientes. No obstante, la estrategia de descomposición para resolución de problemas funciona efectivamente siempre que el proceso en consideración no esté estrechamente ligado a otros procesos del sistema. Un proceso de mejora está estrechamente acoplado a otros procesos de una organización, así como con sus clientes, proveedores, competidores y mercado de capital. No tomar en cuenta estas relaciones a menudo puede provocar efectos no anticipados o perjudiciales e incluso pueden conducir al fracaso de una organización.

Otros estudios relativos a la paradoja de la mejora sugieren que el fracaso de un programa de mejora es resultado de la incapacidad para gestionar dicho programa como un proceso dinámico. Un gerente, por lo tanto, debe ser experto en entender su organización como un

sistema dinámico y tener la apreciación suficiente sobre la complejidad del sistema que está enfrentando para gestionarlo apropiadamente.

Hay otro estudio que demuestra que gestionar una organización sólo bajo el principio del enfoque de procesos originará daños perjudiciales para la misma, tal fue el caso de DTE Energy. El estudio fue realizado mediante un modelo de simulación de sistemas dinámicos por Timothy David Quinn (Quinn, 2011). DTE Energy es una planta generadora y distribuidora de electricidad, la cual implementó una iniciativa de mejora continua con orientación Lean. Al principio la idea de la iniciativa no tuvo muchos seguidores dentro de la organización, pero aun así el plan fue llevado a cabo. Para el plan de mejora continua se realizaron eventos kaizen. Sin embargo, dichos eventos no generaron el cambio que los gerentes esperaban en la organización. Por lo que, posteriormente se añadieron herramientas Six Sigma al plan de mejora continua con orientación Lean, iniciando un programa de capacitación de Black Belts certificados. Para evitar el temor de los empleados sobre la estabilidad laboral, la gerencia brindó una garantía de “No despidos”. Debido a que cada planta generadora de energía debe estar fuera de servicio cierto tiempo para mantenimiento, se creó un manual de interrupción periódica para la organización del cual se obtuvieron cantidades de ahorro considerables para DTE Energy. El plan de la iniciativa de mejora continua fue un fracaso debido a que, de acuerdo con lo que especularon algunos trabajadores de la organización, los proyectos Black Belt tendían a estar mal definidos, tener un alcance demasiado amplio y no estar seleccionados estratégicamente además de tener deficiencias tales como: falta de objetivos y expectativas claras, mala selección de proyectos, mala medición de resultados y escepticismo por parte del personal financiero. Posteriormente DTE Energy prometió una reducción de costos significativa lo que quiere decir que, habría una disminución en las tarifas de electricidad. No obstante, el objetivo no se alcanzó por lo que, la organización tuvo que rendir cuentas al gobierno. A pesar de la garantía de no despidos, la fuerza laboral se tuvo que reducir debido a la crisis financiera que enfrentaba la organización. En consecuencia, el sindicato de trabajadores se reveló contra DTE Energy hasta llegar a un acuerdo.

Como se puede observar, el personal de DTE Energy tuvo varios contratiempos que provocaron que la organización enfrentara un periodo de estrés financiero. La conclusión del

autor sugiere que la crisis se debió a una mala gestión del apoyo de la gerencia a la capacitación para sus trabajadores. Sin embargo, es evidente también la falta de visión sistémica para la toma de decisiones. Por ejemplo, un hecho muy claro es la decisión de la gerencia por realizar múltiples eventos kaizen para mejorar el rendimiento de la organización mediante la mejora de procesos específicos, decisión que al final no generó el resultado esperado para la organización en general. Los gerentes solían pensar que la mejora consistía en buscar cambios pequeños en cada elemento de un proceso y lograr la participación de los empleados en ello. De igual forma se puede apreciar que algunas decisiones también fueron consideradas bajo un enfoque sistémico, un ejemplo de ello es el manual de interrupción periódica, el cual fue previamente analizado y generó resultados favorables para toda la organización. Una vez más se demuestra que el principio bajo el enfoque sistémico es sustancial para gestionar los procesos de una organización. Por supuesto que el principio bajo el enfoque de procesos también es importante, pero debe ir acompañado de una visión sistémica.

Una organización se divide funcionalmente, en donde cada proceso que la conforma no suele respetar los límites entre cada proceso. Por ejemplo, cuando el personal de un área en una organización no sabe mucho sobre lo que sucede en otra área, sus acciones pueden repercutir en otros lugares de dicha organización y perjudicarla. Por ello se resalta la importancia de desarrollar una visión sistémica, principalmente de aquellos que están a cargo de un equipo de trabajo, quienes a su vez son líderes cuya misión es guiar y orientar.

6 Bibliografía

- Abuhav, I. (2017). *ISO 9001:2015—A Complete Guide to Quality Management Systems*. New York: CRC Press.
- Asensi, S. S., Gisbert Soler, V., & Bernabeu, P. E. (2017). Los 7 principios de gestión de la calidad en ISO 9001. *3C Empresa: investigación y pensamiento crítico, 1*, 10-18. doi:<http://dx.doi.org/10.17993/3comp.2017.especial.10-18/>
- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). *System Dynamics Modelling and Simulation*. Selangor, Malaysia: Springer Texts in Business and Economics ReDIF-Book.
- Barile, S., Pellicano, M., & Polese, F. (2018). *Social Dynamics in a Systems Perspective*. Cham, Suiza: Springer. doi:10.1007/978-3-319-61967-5_3
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society, 12*(3), 183-210.
- Benzaquen de las Casas, J. B. (2014). La ISO 9001 y TQM en las empresas latinoamericanas: Perú. *Journal of Globalization, Competitiveness & Governability, 8*(1), 67-89.
- Bhamu, J., & Singh Sangwan, K. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management, 34*(7), 876-940.
- Black, L., & Repenning, N. (2001). Why Firefighting Is Never Enough: Preserving High-Quality Product. *Sloan School of Management, 17*(1), 33-62.
- Brailsford, S., Churilov, L., & Dangerfield, B. (2014). *Discrete-event simulation and system dynamics for management decision making*. United Kingdom: Wiley.
- Bystrom, K., & Jarvelin, K. (1995). Task complexity affects information seeking and use. *Information processing & management, 31*(2), 191-213. doi:[doi:doi.org/10.1016/0306-4573\(95\)80035-R](http://doi.org/10.1016/0306-4573(95)80035-R)
- Cantú, Delgado, J. H. (2011). *Desarrollo de una cultura de calidad*. México, DF: Mc Graw Hill.
- Coss Bu, R. (2005). *Simulación un enfoque práctico*. México DF: LIMUSA.

- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M., & Bingham, C. B. (2007). Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32(2), 480-499.
- Dooley, K. (2002). Simulation Research Methods. *Companion to organizations*, 829-848.
- Duggan, J. (2016). *System dynamics modeling with R*. Switzerland : Springer International Publishing.
- Edwards, J. R., & Berry, J. W. (2010). The presence of something or the absence of nothing: Increasing theoretical precision in management research. *Organizational Research Methods*, 13(4), 668-689.
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. United States of America: Productivity Press.
- Forrester, J. W. (1968). *Principles of Systems*. United States of America : Productivity Press.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México, DF: McGraw-Hill.
- Gutiérrez, P. H., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México, DF: McGraw Hill.
- Harrison, R. J., Zhiang, L., R, Carroll, G., & Carley, K. M. (2007). Simulation modeling in organizational and management research. *Academy of management review*, 32(4), 1229-1245.
- Hernández y Rodríguez , S. (2002). *Administración Pensamiento, proceso, estrategia y vanguardia*. México, DF: McGraw Hill.
- Hirsch, G. B., Levine, R., & Miller, R. L. (2007). Using system dynamics modeling to understand the impact of social change initiatives. *American Journal of community psychology*, 39(3-4), 239-253. doi:10.1007/s10464-007-9114-3
- Hjorth, P., & Bagheri, A. (2006). Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. *Futures*, 38(1), 74-92.
- Honarpour, A., Jusoh, A., & Md Nor, K. (2016). Total quality management, knowledge management, and innovation: an empirical study in R&D units. *Total Quality Management & Business Excellence*, 29(7-8), 798-816.
- International Organization of Standardization. (2015). *Quality Management Principles (ISO 9001:2015)*. Ginebra, Suiza: ISO.
- ISO. (2015). *Quality management systems — Requirements (ISO 9001:2015)*. Ginebra: International Organization for Standardization.

- ISO. (2018, 11 12). *ISO - International Organization for Standardization*. Obtenido de International Organization for Standardization (ISO): www.iso.org/home.html
- Karakasnaki, M. (2016). *The impact of quality management systems (ISO standards, ISM Code, TQM) on the management and performance of shipping companies*.
- Keating, E., & Oliva, R. (2000). A dynamic theory for sustaining process improvement teams in product development. *Advances in Interdisciplinary Studies of Teams*, 5, 245-281.
- Keating, E., Oliva, R., Repenning, N., Rockart, S., & Sterman, J. (1999). Overcoming the improvement paradox. *European Management Journal*, 17(2), 120-134.
- Kirkwood, C. W. (1998). *New Product Dynamics-Illustrative System Dynamics Models*. Arizona State University, College of Business.
- Kofman, F., Repenning, N., & Sterman, J. D. (1997). Unanticipated side effects of successful quality programs: Exploring a paradox of organizational improvement. *Management Science*, 43(4), 503-521.
- Kuehl, R. O. (2001). *Diseño de experimentos Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. México, D.F.: Thomson.
- McMillan, C., & F. Gonzalez, R. (1977). *Análisis de sistemas Modelos de toma de decisiones por computadora*. México, DF: Trillas.
- Montana, P. J. (2004). *Administración*. México, DF: CECSA.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments, eight edition*. United States: Joh Wiley and Sons.
- Natarajan, D. (2017). *ISO 9001 quality management systems*. Suiza: Springer.
- O'Neill, P., Sohal, A., & Teng, C. W. (2016). Quality management approaches and their impact on firms' financial performance—An Australian study. *International Journal of Production Economics*, 171(3), 381-393.
- Obeidat, B. Y., Hashem, L., Alansari, I., Tarhini, A., & Al-Salti, Z. (2016). The effect of knowledge management uses on total quality management practices: A theoretical perspective. *Journal of Management and strategy*, 7(4), 18-29.
- Peterson, D. W., & Eberlein, R. L. (1994). Reality check: A bridge between systems thinking and system dynamics. *System Dynamics Review*, 10(2-3), 159-174.
- Peterson, D. W., & Eberlein, R. L. (1994). Reality check: A bridge between systems thinking and system dynamics. *System Dynamics Review*, 10(2-3), 159-174.

- Quinn, T. D. (2011). *The implementation dynamics of continuous improvement throughout the corporate hierarchy based on lean six sigma at DTE energy (Disertación Doctoral)*. Cambridge MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Repenning, N. (2002). A simulation-based approach to understanding the dynamics of innovation implementation. *Organization Science*, 13(2), 109-127.
- Repenning, N. (2003). Selling system dynamics to (other) social scientists. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 19(4), 303-327.
- Repenning, N. P., & Sterman, J. (1997, Abril). http://web.mit.edu/j_sterman/www/.
Obtenido de dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/2653/SWP-3952-37733566.pdf.
- Rodríguez Fonseca, F. (2012). Incidencia de la Norma ISO 9000 en Colombia y en algunas empresas en el mundo. *Revista Ciencias Estratégicas*, 20(27), 149-159.
- Sabbaghaa, O., Ab Rahmanb, M. N., Ismailc, W. R., & Hussaind, W. M. (2016). Impact of quality management systems and after-sales key performance indicators on automotive industry: A literature review. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 224(1), 68-75.
- Senge, P. M., & Sterman, J. D. (1992). Systems thinking and organizational learning: Acting locally and thinking globally in the organization of the future. *European journal of operational research*, 59(1), 137-150.
- Stepanovich, P. L. (2004). Using system dynamics to illustrate Deming's system of profound knowledge. *Total Quality Management & Business Excellence*, 15(3), 379-389. doi:10.1080/1478336042000183442
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Mc Graw Hill.
- Sterman, J., & Repenning, N. (1997). Getting quality the old-fashioned way: self confirming attributions in the dynamics of process improvement. *Improving Theory and Research on Quality Enhancement in Organizations*.
- Sterman, J., Olivia, R., Linderman, K., & Bendoly, E. (2015). System dynamics perspectives and modeling opportunities for research in operations management. *Journal of Operations Management*. doi:10.1016/j.jom.2015.07.001
- Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2005). *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Canada: Wiley.

- Tushman, M. L., & Nadler, D. A. (1978). Information Processing as an Integrating Concept in Organizational. *Academy of management review*, 3(3), 613-624.
- Vensim Ventana Systems Inc. (2015). *Vensim Software*. Obtenido de Vensim Ventana Systems Inc: <https://vensim.com/vensim-software/>
- Ventana Systems Inc. (2015). *Company*. Obtenido de About us: <https://www.vensim.com/vensim-history>
- Yáñez, J., & Yáñez, R. (2012). Auditorías, Mejora Continua y Normas ISO: Factores clave para la evolución de las organizaciones. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 3(9), 83-92.
- Zimon, D. (2016). Influence of quality management system on improving processes in small and medium-sized organizations. *Calitatea*, 17(150), 61-64.
- Καρακασνάκη, Μ., & Karakasnaki, M. (2016). The impact of quality management system (ISO standards, ISM Code, TQM) on the management and performance of shipping companies.



MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Celaya, Gto., 20/02/2020

Asunto: Carta de Cesión de Derechos.

C. DR. JOSÉ LÓPEZ MUÑOZ

DIRECTOR DEL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA

PRESENTE.

En la ciudad de Celaya, Guanajuato, el 20 de febrero 2020, la que suscribe C. ING. Ana Leticia Villarreal Lugo, alumna de la carrera de Maestría en Ingeniería Industrial con número de control M1803004, adscrita al Tecnológico Nacional de México en Celaya, manifiesta que es autora intelectual de la presente Tesis y cede los derechos del trabajo titulado “Análisis de los principios de calidad en la efectividad organizacional” al Tecnológico Nacional de México en Celaya para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Ana Leticia Villarreal Lugo