



**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

“Estudio de la relación entre la Gestión de la Calidad y el Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en Inglés).”

**JORGE ANDRÉS ACUÑA MELO**

**- TEMUCO, 2015 –**



**UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

“Estudio de la relación entre la Gestión de la Calidad y el Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en Inglés).”

---

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL MENCIÓN  
MECÁNICA**

---

**Profesor Guía:** Dra. Martha Teresa Ramírez Valdivia

**JORGE ANDRÉS ACUÑA MELO**

**- TEMUCO, 2015 -**

**ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD Y EL  
ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS (DEA POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)**

**JORGE ANDRÉS ACUÑA MELO**

**COMISIÓN EXAMINADORA**

**DRA. MARTHA TERESA RAMÍREZ VALDIVIA**

**Profesor Guía**

**NOMBRE PROFESOR**

**Dr. Carlos Omar Muñoz Poblete**

**NOMBRE PROFESOR**

**Dr. Eduardo Ignacio Diez Cifuentes**

**NOTA TRABAJO ESCRITO :**

**NOTA EXAMEN :**

**NOTA FINAL :**

## RESUMEN

La Gestión de la Calidad se ha venido desarrollando desde hace algunas décadas con el objetivo de fomentar y difundir las buenas prácticas para el logro de la excelencia organizacional. El avance tecnológico y el cambio en las necesidades de los clientes, hacen un llamado a la Ingeniería Industrial por un rediseño constante en la implementación de los Sistemas de Gestión de la Calidad. En la búsqueda de herramientas con escasa relación a procesos de mejora para los Sistemas de Gestión de la Calidad, se encuentra el Análisis Envoltante de Datos o DEA por sus siglas en inglés, *Data Envelopment Analysis*. El DEA es una técnica matemática no paramétrica de optimización, utilizada para identificar las eficiencias e ineficiencias individuales, permitiendo la planeación de recursos o la valoración de rendimientos. El objetivo del presente estudio es determinar la existencia de relaciones entre los Sistemas de Gestión de la Calidad y el Análisis Envoltante de Datos, identificando los beneficios que dichas relaciones pudiesen implicar. Para este propósito, se hace necesario un estudio de aplicaciones del Análisis Envoltante de Datos, considerando modelos como CCR —Charnes, Cooper y Rhodes—, BCC —Banker, Charnes y Cooper— y ERGM —*Enhanced Russell Graph Measure*—, con enfoques para herramientas como *Lean Manufacturing*, *Six Sigma*, *Benchmarking* y *Quality Function Deployment*, pertenecientes a los Sistemas de Gestión de la Calidad. Al concluir este estudio se encontró evidencia de relaciones en los rubros de Servicios y Manufactura, donde el DEA se presenta como una manera de optimizar y de dar solución a problemas existentes en el funcionamiento de las metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad. En este contexto, se exponen relaciones y beneficios existentes de la integración del DEA a los Sistemas de Gestión de la Calidad, argumentando la importancia y posibilidades que entrega para el mundo científico, el considerar el DEA como una herramienta de mejora posible de integrar con los Sistemas de Gestión de la Calidad.

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Exposición del Problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
CAPÍTULO 2.METODOLOGÍA.....	5
2.1. Metodología de Desarrollo del Trabajo.....	5
2.2. Herramientas.....	6
CAPÍTULO 3.MARCO TEÓRICO .....	8
3.1. Gestión de la Calidad.....	8
3.1.1. Despliegue de la Función de Calidad ( <i>Quality Function Deployment, QFD</i> ).....	9
3.1.2. Manufactura Esbelta ( <i>Lean Manufacturing</i> ) .....	9
3.1.3. Comparación Competitiva ( <i>Benchmarking</i> ).....	12
3.1.4. Seis Sigma ( <i>Six Sigma</i> ).....	13
3.1.5. Método de Taguchi ( <i>Taguchi Method</i> ).....	14
3.2. Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés).....	15
CAPÍTULO 4.CASOS DE ESTUDIO.....	20
4.1. Aplicaciones en Servicios.....	20
4.1.1. Sector salud .....	20
4.1.2. Sector financiero.....	24
4.1.3. Sector de parques de ciencia y tecnología .....	28
4.2. Aplicaciones en Manufactura .....	30
4.2.1. Optimización de procesos.....	30
4.2.2. Industria automotriz.....	33

4.2.3. Industria de bebestibles .....	36
4.3. Observaciones Finales .....	37
<b>CAPÍTULO 5.RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD Y EL DEA .....</b>	<b>39</b>
5.1. Principales Limitaciones.....	39
5.2. Posibilidades de Integración.....	40
5.3. Beneficios obtenidos .....	41
5.4. Observaciones Finales .....	44
<b>CAPÍTULO 6.CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
6.1. Conclusiones.....	46
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Integración propuesta DMAIC–DEA .....	21
Tabla 4.2. Recursos ahorrados y de potencial ahorro .....	27
Tabla 4.3. Pasos para incorporación DEA-SIX SIGMA .....	28
Tabla 4.4. Resultados de eficiencia y clasificación .....	35
Tabla 5.1. Integración según área de interés en servicios .....	40
Tabla 5.2. Integración según área de interés en manufactura.....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. La Casa de la Calidad.....	10
Figura 3.2. Adaptación actualizada de la Casa Toyota.....	11
Figura 3.3. Ciclo DMAIC Six Sigma .....	14



# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

## Capítulo 1. Introducción

### 1.1. Introducción

La Gestión de la Calidad —QM por sus siglas en inglés: *Quality Management*— es un tema que se ha venido desarrollando desde hace algunas décadas por profesionales del mundo empresarial y académico, que ha presenciado el nacimiento de organizaciones orientadas a fomentar y difundir las buenas prácticas, para el logro de la excelencia empresarial (Evans & Lindsay, 2008).

La expansión del desarrollo económico mundial, la intervención de países con ventajas comparativas y la constante especialización de productos, organizaciones y sistemas, han hecho de la Gestión de la Calidad un elemento determinante en la competencia y supervivencia de los mercados actuales. “La Gestión de la Calidad se ha convertido actualmente en la condición necesaria para cualquier estrategia dirigida hacia el éxito competitivo de la empresa”(Camisón & Cruz, 2006).

Bajo el contexto expuesto anteriormente se crea la necesidad por el desarrollo y utilización de nuevas metodologías que permitan la continua aplicación y mejoramiento de la Gestión de la Calidad y en particular de sus Sistemas —QMS por sus siglas en inglés: *Quality Management System*— en las diversas organizaciones. Dada la disponibilidad de recursos bibliográficos y la cantidad de casos prácticos existentes, las metodologías y herramientas de la QM consideradas en el presente informe son: Despliegue de la Función de Calidad —o QFD por sus siglas en inglés: *Quality Function Deployment*—, *Lean Manufacturing*, *Benchmarking*, *Six Sigma* y *Taguchi Method*.

En la búsqueda de herramientas con escasa o nula relación a procesos de mejora para los Sistemas de Gestión de la Calidad, se encuentra el Análisis Envolvente de Datos —o DEA por sus siglas en inglés: *Data Envelopment Analysis*—, una técnica de optimización matemática no paramétrica de la medición de la eficiencia que surge 1978. Esta se fundamenta en la obtención de una frontera a partir de un conjunto de observaciones, que no considera estimaciones de funciones de producción, es decir, se construye sin necesidad de conocer *a priori* ninguna forma de relación funcional entre

*inputs* y *outputs* (Arechavala & Trapero, 2008). En el presente estudio se analizarán aplicaciones del DEA que abarcan áreas de servicios y manufactura.

## 1.2. Exposición del Problema

Edwards Deming al igual que otros eruditos de la calidad, consideró que las necesidades y deseos del consumidor son cambiantes en el tiempo, por lo cual, el modo de definir la calidad se fundamenta en rediseñar constantemente los requerimientos para esta. La Ingeniería Industrial, ha tenido el deber de considerar el avance de la tecnología y necesidades de los clientes para la mejora de la calidad; ha sido y es necesario el desarrollo de sistemas que permitan la medición del desempeño de acciones concretas, fomentar la participación de trabajadores en mejoras del rendimiento en su entorno de trabajo y la integración de métodos de confiabilidad y calidad (Institute of Industrial Engineers, n.d.). Dicho compromiso es una de las razones de la constante evolución de la gestión de la calidad a lo largo de la historia, situación que ha llevado a mejoras y nuevos diseños en las metodologías y herramientas de implementación de los Sistemas de Gestión de la Calidad (Evans & Lindsay, 2008).

De acuerdo al estudio de fuentes pertinentes a la Gestión de la Calidad —QM—, ha quedado en evidencia la escasa información en el campo de la aplicación del DEA para los Sistemas de Gestión de la Calidad —QMS—, situación que es establecida como la base de estudio del presente trabajo de título.

El determinar la existencia de relaciones entre el Análisis Envolvente de Datos y los Sistemas de Gestión de la Calidad, así como los beneficios que implicaría la integración de esta herramienta matemática no paramétrica a los Sistemas de Gestión de la Calidad, son los principales objetivos a abordar en este estudio .

### 1.3. Objetivos

#### Objetivo General

- Determinar la existencia de relaciones entre los Sistemas de Gestión de la Calidad y el Análisis Envolvente de Datos.

#### Objetivos Específicos

- Identificar herramientas y metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad.
- Analizar aplicaciones del Análisis Envolvente de Datos a los Sistemas de Gestión de la Calidad en áreas prioritarias.
- Estudiar los beneficios de integrar el Análisis Envolvente de Datos con los Sistemas de Gestión de la Calidad.

# **CAPÍTULO 2**

## **METODOLOGÍA**

## Capítulo 2. Metodología

### 2.1. Metodología de Desarrollo del Trabajo

La modalidad de trabajo utilizada en el presente trabajo de título, consiste en el método científico, para el estudio de los Sistemas de Gestión de la Calidad —QMS— y el Análisis Envoltante de Datos —DEA—, para definir posibles relaciones y beneficios de la utilización conjunta de estos.

De acuerdo al estudio de diversas fuentes bibliográficas, se da énfasis a la utilización de documentación sobre el uso práctico de estas herramientas, por hallarse mayor disponibilidad de recursos de éstas.

Una vez realizado el marco teórico, proveniente de recursos de información bibliográfica primarios, de los pilares fundamentales de este estudio, los QMS y sus diversas metodologías, y el DEA, se procede a la revisión de casos prácticos reales del DEA y las metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad en los últimos 10 años, de manera tal, de considerar conocimientos teóricos actualizados en el uso de estas herramientas.

El estudio de las aplicaciones del DEA, y de las metodologías de los QMS considerados, abarcan campos de análisis en Servicios y Manufactura, donde es posible encontrar casos en Salud, Finanzas, Industrias, entre otros. Esto permite delimitar el problema de estudio a dichas áreas, donde se accede a la información principalmente por medio de recursos secundarios que dan acceso a publicaciones, tesis doctorales, actas de congresos, libros y revistas electrónicas.

Debido al énfasis en la utilización de documentación sobre el uso práctico de los QMS y el DEA, se utiliza un método inductivo que permite obtener de los hechos particulares una conclusión.

Después de definir un orden establecido, se llevan a cabo las actividades de manera secuencial hasta llegar a las conclusiones. A modo de resumen, se mencionan las siguientes actividades para cumplir con los objetivos planteados:

- Revisión bibliográfica de la Gestión de la Calidad y Sistemas que permiten su integración en las organizaciones.

- Estudio de metodologías y herramientas de los QMS.
- Revisión bibliográfica del Análisis Envolvente de Datos.
- Estudio de casos prácticos del DEA y QMS en áreas definidas.
- Análisis de existencia de relaciones entre Metodologías de los QMS y el DEA.
- Determinación de beneficios ante una integración del DEA y los QMS.
- Elaboración de conclusiones.

## 2.2. Herramientas

- Herramientas de Investigación: Motores de búsqueda académicos, libros y recursos electrónicos dispuestos en la Dirección de Bibliotecas de la Universidad.
- Herramientas de Documentación: Herramientas de procesadores de texto, específicamente Microsoft Word.

**CAPÍTULO 3**  
**MARCO TEÓRICO**



## Capítulo 3. Marco Teórico

### 3.1. Gestión de la Calidad

La Gestión de la Calidad a lo largo de la historia ha recibido gran cantidad de definiciones, ante lo cual autores como Conti (1999) se han preguntado si dicha actividad representa realmente las necesidades de los usuarios, o más bien denuncia la competencia entre modelos de gestión para captar adeptos. “Ni asesores ni profesionales de los negocios concuerdan en una definición universal” (Evans & Lindsay, 2008).

Así, “la Gestión de la Calidad se utiliza para describir un sistema que relaciona un conjunto de variables relevantes para la puesta en marcha de una serie de principios, prácticas y técnicas para la mejora de la calidad”(Camisón & Cruz, 2006). Quizás sea esta la definición que más se adapta a lo que se aborda a lo largo del presente estudio.

Cuando hablamos de la Gestión de la Calidad, es inevitable preguntarse de que manera las organizaciones la están implementando; es aquí donde nace el concepto de Sistemas de Gestión de la Calidad —QMS—. En esta investigación se definen los QMS como estructuras organizacionales, procedimientos, procesos y actividades que son mutuamente dependientes y dirigidas a las mejoras de la atención y manufactura (Wagner, De Bakker, & Groenewegen, 1999).

Al indagar en el mundo bibliográfico de los Sistemas de Gestión de la Calidad, es posible encontrar una serie de métodos y herramientas que permiten su implementación y que buscan mejorar el funcionamiento de las organizaciones. A continuación se presenta una breve descripción de los métodos seleccionados para este estudio, dada la disponibilidad de recursos bibliográficos y la cantidad de casos prácticos existentes.

### 3.1.1. Despliegue de la Función de Calidad (*Quality Function Deployment, QFD*)

El QFD se gestó en Japón a finales de la década del 1960 y se desarrolló para la creación y diseño de nuevos productos (Yacuzzi, Martín, & Pharma, n.d.). Con el paso del tiempo se convirtió en el elemento integrador de las diversas áreas de una organización. Este método tiene la particularidad de recoger la voz del cliente —o VOC por sus siglas en inglés: *Voice of Client*— y convertirla en requerimientos ingenieriles de operaciones y diseños que satisfacen al mercado y sus demandas (Benner *et al.*, 2003). La Matriz de la Calidad se considera la esencia del QFD; esta posee múltiples entradas numéricas y relaciona los requerimientos de los clientes con las características técnicas necesarias para satisfacerlos (Azadi & Farzipoor Saen, 2013). En la Figura 3.1. se ve representada una versión básica de la Casa de la Calidad.

El QFD es un traductor de la voz del cliente en un lenguaje ingenieril, el cual, es utilizado para el desarrollo de los requerimientos de diseño (Akao, 2004).

### 3.1.2. Manufactura Esbelta (*Lean Manufacturing*)

El modelo de fabricación esbelta o *Lean Manufacturing*, proveniente del sistema de producción *Just in Time* de Toyota (JIT). Es una estrategia de manufactura integrada, la cual, se enfoca en maximizar la capacidad y minimizar la variabilidad del sistema (Anvari *et al.*, 2014). La fabricación esbelta puede ser entendida como un modelo orientado a la excelencia industrial, donde la aplicación habitual y sistemática de múltiples técnicas buscan la mejora de procesos productivos por medio de la reducción de desperdicios. El objetivo es generar una cultura donde se tiende a la implementación de mejoras en todos los niveles considerando problemas existentes, por lo cual, es fundamental la colaboración y comunicación entre los distintos actores (Hernández & Vizán, 2013). *Lean Manufacturing* se ha materializado a lo largo del tiempo a través de una amplia gama de técnicas que han podido llevarlo a la práctica; “En muchos casos hay un falso debate entre si pertenecen al área de la Calidad Total, al JIT o a las nuevas técnicas organizativas” (Hernández & Vizán, 2013).

Para entender de mejor manera la filosofía de la fabricación esbelta se puede recurrir a la casa del sistema de producción de Toyota. La Figura 3.2. representa una versión actualizada de la casa de Toyota.

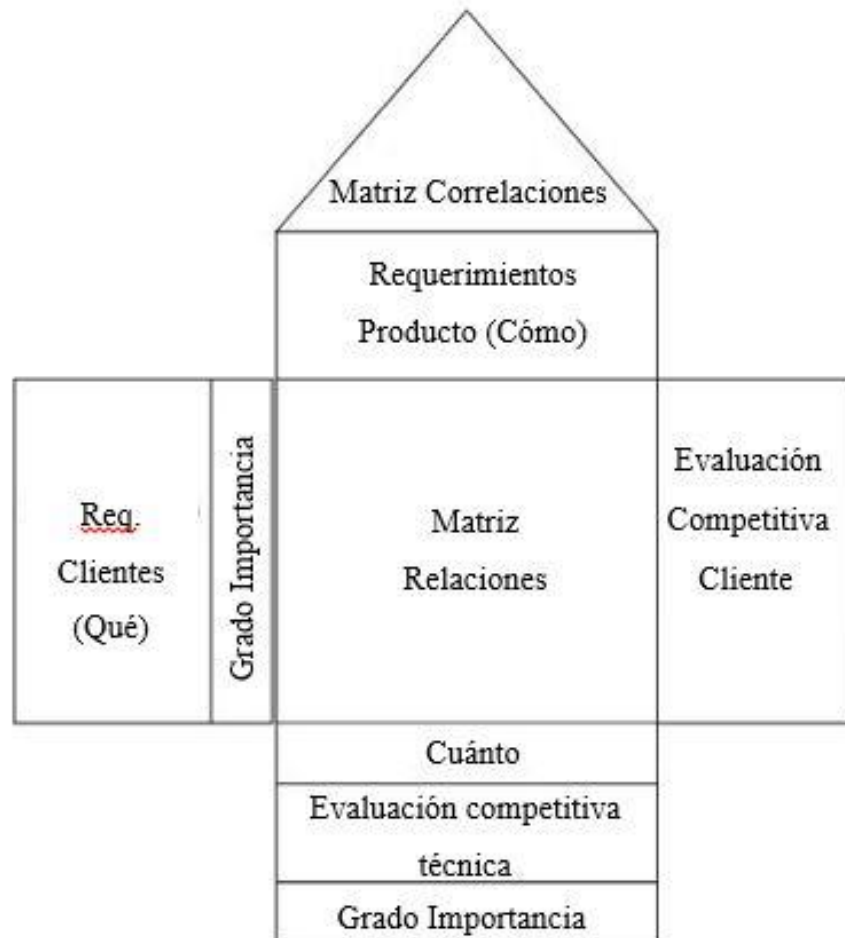


Figura 3.1. La Casa de la Calidad

*Fuente: Editado de Benner et al., 2003*

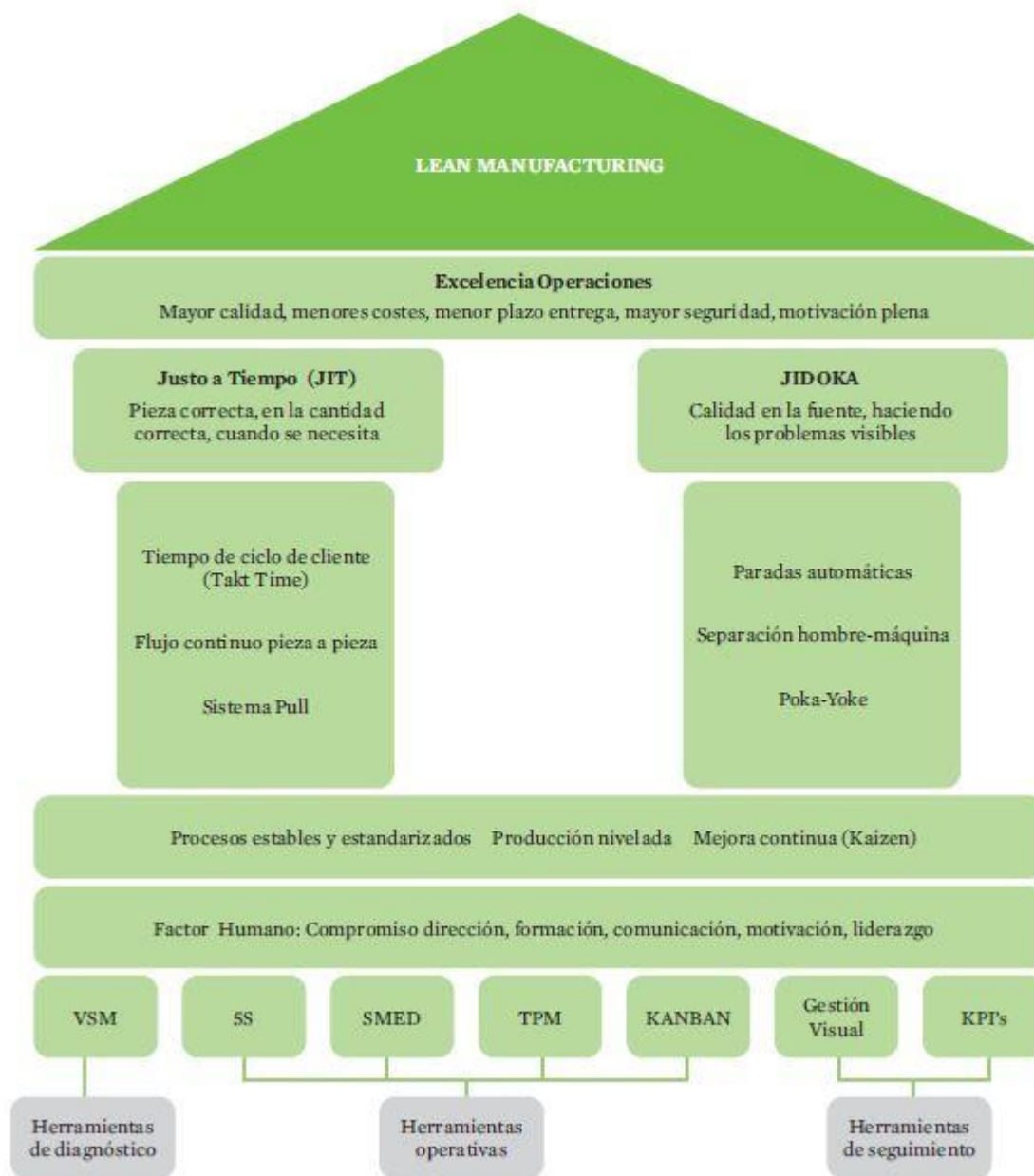


Figura 3.2. Adaptación actualizada de la Casa Toyota

*Fuente: Hernández & Vizán, 2013*

### 3.1.3. Comparación Competitiva (*Benchmarking*)

Es el método de medición continua y de comparación de los procesos, productos y servicios del negocio con los equivalentes en las principales organizaciones de las mejores prácticas, donde obtener información que ayude a la organización a identificar e implementar mejoras es el principal objetivo, el cual, se logra por intermedio de *Benchmarks* (Andersen, 1999). El *Benchmarking* puede ser clasificado en categorías según con quien se esté comparando la organización, así existe el *Benchmarking* Interno, Competitivo, Funcional y Genérico, entre otros (Lee & Kim, 2014). Es posible encontrar más de 18 formas distintas de *Benchmarking*, cada una con más de una definición y explicación, lo que ha dificultado un consenso acerca de las clasificaciones del *Benchmarking* (Jetmarová, 2011); sin embargo los tipos de *Benchmarking* son más complementarios que excluyentes, por lo cual, pueden ser escogidos y combinados para un propósito específico.

#### **Principios del *Benchmarking***

Según Scott (2011) los diez principios de la teoría del *Benchmarking* son:

1. Mejorar prácticas, servicios o productos.
2. Involucrar el aprendizaje de las mejores prácticas de otros.
3. Acelerar la tasa de progreso y mejoras.
4. Contribuir con la continuidad de la Gestión de la Calidad.
5. Ser un proceso constante.
6. Promover pensamientos frescos e innovadores acerca de los problemas.
7. Proporcionar información concreta sobre el rendimiento.
8. Enfocarse no solo en el logro, sino también en cómo es logrado.
9. Generar la adaptación, no solo la adopción de las mejores prácticas.
10. Resultados en el establecimiento de objetivos específicos.

#### 3.1.4. Seis Sigma (*Six Sigma*)

Filosofía desarrollada por Motorola y popularizada por General Electric, orientada a la mejora de la calidad por el total de una compañía (Koning & Mast, 2005). La implementación de esta metodología debe enfocarse en identificar y eliminar defectos, errores o fallas en los procesos o sistemas del negocio (Antony, Kumar, & Madu, 2005). De este enfoque sistemático nace el proceso característico de *Six Sigma*: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC por sus siglas en inglés: *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), el cual, puede ser apreciado en la Figura 3.3. *Six Sigma* ofrece metodologías de investigación y experimentación para la ejecución de proyectos de diversas envergaduras que buscan el mejoramiento de la calidad (de Mast, 2006). Los métodos estadísticos son el origen del *Six Sigma*, es por esto, que se pueden agrupar sus herramientas en dos grandes grupos generalmente, de Gestión de la Calidad y de Métodos Estadísticos (Cherry, Fache, & Seshadri, 2000).

Algunas de las herramientas más utilizadas en *Six Sigma*, se presentan a continuación.

Herramientas pertenecientes a la Gestión de la Calidad (Raisinghani *et al.*, 2005):

- Mapas de procesos
- Diagramas causa-efecto
- Gráfico de Pareto
- QFD

Herramientas pertenecientes a los Métodos Estadísticos:

- Procesos estadísticos de control
- Diseño de experimentos
- Análisis de varianza
- Prueba de hipótesis
- Análisis de regresión



Figura 3.3. Ciclo DMAIC Six Sigma

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.1.5. Método de Taguchi (*Taguchi Method*)

El Método de Taguchi o método de Diseño Robusto, generado en la primera parte de la década del 1950 se enfoca en la reducción de la variación del rendimiento en procesos o productos, considerando como foco de trabajo la fase de diseño. La mayor vida útil es uno de los objetivos de mejora del Diseño Robusto, pero este solo se puede lograr con éxito si la implementación del Método de Taguchi es generalizado en toda la vida del producto; es por esto, que se considera como uno de los principios básicos de la metodología su aplicabilidad continua en todas las etapas de desarrollo de los productos (Chen *et al.*, 2010; Design *et al.*, n.d.).

### 3.2. Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés)

Dentro del campo de la medición del desempeño o eficiencia en las diversas organizaciones y sectores públicos, se han utilizado e investigado múltiples técnicas. Dentro de estos métodos, una técnica que considera para su análisis el conjunto de Unidades de Toma de Decisión —o DMU, por sus siglas en inglés: *Decision Making Units*—, comparándolas entre ellas mismas sin considerar un parámetro óptimo previamente establecido, es el Análisis Envolvente de Datos (Maza, Quesada & Vergara, 2013).

Dentro de las técnicas de gestión de operaciones, el DEA es un método bien estudiado para identificar las eficiencias e ineficiencias individuales, por lo tanto puede facilitar la planeación de recursos o la valoración de rendimientos (Feng & Antony, 2009).

El DEA se basa en la programación matemática no paramétrica y se puede clasificar de manera general en modelos radiales y no radiales. Los modelos radiales tienen una medición de la eficiencia que necesita un tratamiento separado entre la orientación de salidas y la orientación de entradas; por otro lado, para modelos no radiales existe una medición de la eficiencia única para ambas (Cook & Seiford, 2009). En el presente estudio se considera como definición del Análisis Envolvente de Datos, una técnica de medición del desempeño, que se fundamenta en la obtención de una frontera de eficiencia a partir de un conjunto de observaciones, que no consideran estimaciones de funciones de producción, es decir, sin necesidad de conocer ninguna forma de relación funcional entre *inputs* y *outputs* (Arechavala & Trapero, 2008).

El primer modelo DEA, conocido como CCR en honor a sus desarrolladores, Charnes, Cooper y Rhodes — 1978— (Kabnurkar, 2001). Este modelo proporciona rendimientos constantes a escala y se basa en la programación fraccional (Cook & Seiford, 2009). Se mide la eficiencia técnica relativa de cada Unidad calculando la relación de la suma pondera de sus salidas a la suma pondera de sus entradas, para luego comparar las Unidades de Toma de Decisiones con una eficiencia global. Sin embargo, esta última acción ignora el hecho de que diferentes Unidades de Toma de Decisiones puedan operar a diferentes escalas. Esta situación fue considerada e incorporada en el modelo BCC desarrollado por Banker, Charnes y Cooper —1984— (Kabnurkar, 2001). Si bien el



modelo BCC se diferencia del CCR tan solo por adicionar una variable (Cook & Seiford, 2009), existe una diferencia conceptual entre ellos del momento en que se consideran rendimientos variables a escala por parte del BCC (Glover & Sueyoshi, 2009). Ambos modelos son considerados como “modelos radiales” por la comunidad del DEA, debido a que poseen un puntaje de eficiencia que es medido radialmente en una frontera de eficiencia.

Los modelos de DEA pueden tener una orientación a las salidas o entradas. La orientación a las entradas controla las salidas, mientras reduce al máximo posible las entradas; en este tipo de orientación, una unidad ineficiente se hace eficiente a través de una reducción proporcional de sus entradas y manteniendo constante las salidas. Modelos con orientaciones a las salidas controlan las entradas, mientras se aumentan al máximo posible las salidas; en este tipo de orientación, una unidad ineficiente se hace eficiente a través de un incremento proporcional de sus salidas y manteniendo sin cambios las entradas. Una DMU ineficiente puede mejorar su eficiencia proyectándose sobre la frontera. El tipo de orientación de un modelo determinará la dirección de la proyección para los DMU ineficientes.

Las mediciones obtenidas por una orientación de salidas o entradas, son siempre las mismas en un modelo CCR, pero usualmente diferentes con BCC. Es así que usando el modelo CCR, se puede por medio de una orientación obtener ambas interpretaciones (Martić, Novaković & Baggia, 2009).

En estos modelos es posible encontrar múltiples soluciones óptimas, lo que causa una variación de eficiencias cruzadas. Este problema es resuelto introduciendo una segunda función objetivo usando formulación benevolente. La principal idea de la formulación benevolente es obtener un sistema de ponderaciones, de una determinada DMU en evaluación, que sería óptimo para el modelo CCR, pero tiene como objetivo secundario la maximización de las eficiencias cruzadas de las otras DMU (Angulo & Lins, 2002).

Los modelos radiales poseen la debilidad de solo cubrir algunas de las ineficiencias de entrada o salida, y por lo tanto solo se mide una “eficiencia débil”; a su vez, no consideran información imprecisa. Por ejemplo, el *IMPRECISE-ERGM*, caracterizado por ser un modelo no radial, hace posible obtener otros objetivos en la frontera de eficiencia y mediciones que consideran holguras distintas de cero en entradas y salidas cuando están presentes. El hecho de que existan entradas y

salidas que se encuentren en forma de intervalos o datos ordinales, niega la hipótesis de que los datos son identificados precisamente, situación por la cual, aplicar un modelo de información imprecisa permite calcular de manera adecuada la eficiencia técnica de las DMU (Azadi & Farzipoor Saen, 2013). Sin embargo, hay situaciones donde información adicional se encuentra disponible, o es posible hacer supuestos que conducen al establecimiento de condiciones distintas a la no negatividad en los componentes de los vectores multiplicadores; por ejemplo, el método *CONE-RATIO* provee un enfoque para múltiples usos que consideran dichas situaciones. El énfasis del método *CONE-RATIO* se establece en el ajuste de datos, como una alternativa para el uso de restricciones formuladas explícitamente. El objetivo es tratar con situaciones que son muy complejas para ser tratadas por métodos como el *ASSURANCE REGION*, que solo proveen un enfoque más particular que limita la variedad de usos (Cooper, Seiford & Tone, 2007).

En términos generales el Análisis Envolvente de Datos genera una frontera de eficiencia, de manera tal que las Unidades de Toma de decisiones ubicadas sobre dicha frontera se considerarán como eficientes, en otro caso se considerarán como ineficientes. Las Unidades de Toma de Decisiones ineficientes pueden ser corregidas hacia la frontera de eficiencia, disminuyendo sus entradas o aumentando sus salidas (Golany, 1988; Herrmann *et al.*, 2006; Hosseinzadeh Lotfi *et al.*, 2010).

“Desde la llegada del DEA en 1978, ha cobrado un impresionante crecimiento en el desarrollo teórico y de aplicaciones, dándole una orientación más práctica” (Cook & Seiford, 2009). Una de las principales razones de lo mencionado con anterioridad son las ventajas que ofrece la utilización del DEA; a continuación se mencionan algunas de estas:

- Permite muchas generalizaciones.
- Es mucho más flexible que los métodos econométricos.
- Los datos son los que determinan cuál es la función, y no se intenta estimar. En este sentido, no se necesita establecer una forma funcional inicial (Ávila, Navarro & Puello, 2012).

Uno de los principales usos que se le ha dado al DEA a lo largo de su existencia, es la medición de la eficiencia relativa en grupos homogéneos de entidades (Kumar *et al.*, 2014), tales como

hospitales, departamentos de fuerzas aéreas, universidades, cortes, firmas de negocios y otras (Cooper, Seiford, & Zhu, 2011). Entre los ejemplos más usuales de las Unidades de Toma de Decisión —DMU— en los campos de la Salud, se encuentran hospitales, departamentos específicos, médicos o enfermeras, entre otros (Feng & Antony, 2009). Es así que la eficiencia relativa queda definida como una razón de las sumas ponderadas de las salidas con las sumas ponderadas de las entradas, lo que se expresa en la Ecuación 1.

$$E_j = \frac{\sum_{k=1}^q u_k y_{kj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}}$$

Ecuación 1

*Fuente: Mirfakhradini & Azizi, 2013*

Donde  $u_k$  es igual a la ponderación dada a las salida  $k$ ;  $y_{kj}$  es igual al número de salidas de  $k$  desde la unidad  $j$ ;  $v_i$  es igual a la ponderación dada a las entradas  $i$ ;  $x_{ij}$  es igual al número de entradas de  $i$  desde la unidad  $j$ ; para  $j = 1, \dots, n$ , donde  $m$  es el número de entradas y  $q$  es el número de salidas (Mirfakhradini & Azizi, 2013).

Situaciones en las que un conjunto común de ponderaciones para entradas y salidas, es aplicado para todas las unidades, deja de lado el hecho de que diferentes unidades de entradas y salidas pueden requerir distintas ponderaciones. Esta situación quedará definida a través de una función de maximización de la eficiencia relativa; un ejemplo de esto es el caso de médicos que evalúan pacientes nuevos o pacientes habituales, de manera distinta que otros médicos. El método DEA propuesto en Charnes et al (1978), establece la posibilidad a cada unidad de adoptar una serie de ponderaciones que permitirán ubicar a cada una de estas unidades en la posición más favorable con respecto a las otras (Feng & Antony, 2009).

**CAPÍTULO 4**  
**CASOS DE ESTUDIO**

## Capítulo 4. Casos de estudio

### 4.1. Aplicaciones en Servicios

#### 4.1.1. Sector salud

El primer caso analizado, de Feng & Antony —2009— utiliza la metodología *Six Sigma*, la cual ha sido implementada satisfactoriamente en diversos sectores de la medicina y salud alrededor del mundo, con clientes de instituciones que buscan procesos seguros y libres de error, que garanticen o superen el mejor nivel en el cuidado de la salud.

Sin embargo métodos de eliminación de defectos como *Six Sigma*, son insuficientes para manejar ciertos tipos de mejoras a problemas de procesos, tales como, planeación de recursos o gestión de operaciones. Un ejemplo es el caso de presupuestos limitados, espacios o tiempos, es aquí, donde la integración de técnicas de estudio de operaciones se vuelve necesaria.

Dado el conocimiento de los estudios actuales, se sabe que el DEA no ha sido incluido dentro de las herramientas del *Six Sigma*. Por esto, para generar la integración dentro de un marco sistemático y secuencial, será necesaria la utilización de las fases del DMAIC.

En la Tabla 4.1. se presenta la integración propuesta del DEA y DMAIC, junto con otras herramientas que facilitarán su implementación.

Una vez presentado este mapa de ruta para los profesionales del *Six Sigma* y con ayuda de las herramientas facilitadoras, se estableció como DMUs a los 22 médicos del Departamento de Ginecología Oncológica del Anderson *Cancer Center*. El modelo utilizado DEA-BCC, consideró como entrada el presupuesto mensual de cada médico y como salida el número de pacientes atendidos por consultas, casos ambulatorios nuevos y casos ambulatorios establecidos.

Tabla 4.1. Integración propuesta DMAIC–DEA

DMAIC	Procedimiento para implementar DEA	Otras herramientas facilitadoras para DEA
Definir	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar las unidades de toma de decisiones (DMUs)</li> <li>Definir entradas y salidas involucradas en la evaluación de eficiencia de las DMUs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diagrama SIPOC</li> <li>Diagrama de flujo de procesos</li> <li>Diagrama causa efecto</li> </ul>
Medir	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollar plan de recolección de datos</li> <li>Recopilar datos de entradas y salidas</li> <li>Verificar la exactitud y fiabilidad de los datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plan de recolección de datos</li> <li>Diseño de muestreo</li> </ul>
Analizar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicar modelo de DEA apropiado para obtener puntajes de eficiencia de los DMUs</li> <li>Analizar DMUs relativamente eficientes</li> <li>Analizar DMUs relativamente ineficientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis gráfico</li> <li>Resumen estadístico</li> <li>Análisis multivariable</li> <li>Análisis de regresión</li> </ul>
Mejorar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionar conjuntos de referencia para unidades ineficientes</li> <li>Establecer objetivos de rendimientos para todas las unidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de experimentos</li> <li>Herramientas de simulación</li> </ul>
Controlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Validar mejora por medio de estudio piloto</li> <li>Verificar beneficios, disminución de costos y aumento de ganancias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis costo-beneficio</li> <li>Gráficos de control</li> </ul>

*Fuente: Editado de Feng & Antony, 2009*

Los resultados obtenidos indican que 8 de los 22 médicos —36%— son técnicamente eficientes. Los 14 médicos restantes son relativamente ineficientes con un puntaje de DEA menor a 1. El promedio del puntaje de eficiencia fue 0,812 con una desviación estándar de 0,199. Adicionalmente la información obtenida —costos, salarios, número de consultas realizadas, etc.— del rendimiento de los médicos técnicamente eficientes, debe ser utilizada como referencia para el mejoramiento de los médicos ineficientes, en el caso de no poder modificar las entradas, se debe considerar la utilización de un modelo de DEA con orientación a las salidas.

Se concluye, basados en la experiencia de utilizar la metodología *Six Sigma*, la existencia de limitaciones de implementación en gestión de operaciones, planeación de recursos, etc. (Tang *et al.*, 2007). El introducir el Análisis Envolvente de Datos en las prácticas del *Six Sigma*, implica ampliar el campo de utilización de esta herramienta de la gestión de la calidad; permite además analizar rendimientos de organizaciones o individuos de manera más efectiva. Por otro lado, el hecho de contar con eficiencias relativas por parte del DEA, entrega el potencial de seguir mejorando incluso por parte de las DMU eficientes, situación que se alinea con el principio de mejora continua del *Six Sigma* (Raisinghani *et al.*, 2005). Comparado con métodos gráficos utilizados usualmente en estos tipos de proyectos *Six Sigma* (Feng & Antony, 2009), el DEA provee un análisis cuantitativo efectivo de la productividad de los médicos en los servicios de salud. Por último, el hecho de aplicar el método DMAIC al Análisis Envolvente de Datos, genera una mejora en la efectividad del DEA.

El segundo caso, de Azadi & Farzipoor —2013— destaca el rápido crecimiento en la industria de los Servicios de Salud, clientes más informados, más demandantes y menos pacientes, son parte de los asuntos con los cuales encargados de Servicios de Salud deben lidiar. La Gestión de la Calidad Total se ha posicionado como una de las claves para dar solución a dichos asuntos. El Despliegue de la Función de la Calidad es una de las herramientas vitales para el éxito en los sistemas de Servicios de Salud.

En el mundo competitivo de hoy en día, es imposible que una organización logre bajos costos y una alta calidad de servicio y producto, sin antes contar con clientes satisfechos. En el Despliegue de la Función de la Calidad tradicional se determina la importancia relativa de los Requerimientos de Diseño, basándose en criterios subjetivos, lo que lleva a distintas interpretaciones.

El objetivo de este caso de estudio revisado, es determinar el grado de importancia de los diversos Requerimientos de Diseño para mejorar la satisfacción de los clientes. La información utilizada se obtuvo en el 2010 del Hospital Shahid Dr. Fayazbakhsh en Irán. Este Hospital con más de 47 años de experiencia prestando servicios médicos, tiene 477 camas operativas, 25 camas de emergencia, 180 médicos y 480 enfermeras.

El Análisis Envolvente de Datos, en particular el modelo *IMPRECISE-ERGM*, fue la herramienta utilizada para determinar el grado de importancia de los Requerimientos de Diseño, de manera tal, que los resultados estén respaldados por una técnica objetiva que pueda dar un mayor grado de certeza sobre el cumplimiento de las prioridades de los clientes.

Las siguientes son las etapas utilizadas para llevar a cabo la investigación del caso:

1. Reuniones con encargados del hospital y médicos, para verificar el cuestionario propuesto.
2. A través de entrevistas y cuestionarios generados por medio de una Lluvia de Ideas se recibe la Voz del Cliente. Las expectativas de los clientes son analizadas y categorizadas para formar los requerimientos de clientes en la Casa de la Calidad. En la última parte de esta etapa se dividen los requerimientos de los clientes en grupos según sea su confiabilidad, capacidad de respuesta, compromiso, empatía, condiciones ambientales, costos de servicios y facilidad de implementación. El costo de servicio es una entrada y la fácil implementación es una salida.
3. En esta etapa la Lluvia de Ideas y el Diagrama Causa Efecto, son utilizados para determinar los Requerimientos de Diseño.
4. Se define la relación entre los requerimientos de los clientes y los requerimientos de diseño en base a información imprecisa, por lo cual, se utiliza una escala Likert de nueve puntos para definir la relación según si es débil, mediana o fuerte.
5. En la última etapa se asume que cada Requerimiento de Diseño es una Unidad de Toma de Decisión. Los Requerimientos de los Clientes son divididos en entradas y salidas. Finalmente hay 25 entradas y salidas.

Los puntajes de eficiencia asumiendo límites superiores y límites inferiores son cálculos por medio de Lingo Software y se presentan en la tabla del Anexo A.

Finalmente si los puntajes de eficiencia de los límites superiores son considerados, la información de los tiempos de servicios ofrecidos y la clarificación de las señales de guía, son calificados como los Requerimientos de Diseño más importantes, por lo cual, los administradores deben dar la mayor atención a estos requerimientos cuando se encuentren diseñando el servicio.



De este caso se concluye que integrar el Análisis Envolvente de Datos con el Despliegue de la Función de Calidad, da respuesta a una de las principales ambigüedades de esta metodología de Calidad. El QFD tradicional basa la importancia relativa de los Requerimientos de Diseño en juicios subjetivos, mientras en DEA se determinan por una técnica matemática objetiva (Andronikidis *et al.*, 2009). En una primera instancia, el modelo CCR fue aplicado en el contexto del QFD (Ramanathan & Yunfeng, 2009). Este enfoque no es adecuado, ya que las medidas radiales de los modelos clásicos del DEA, como CCR o BCC, no consideran holguras distintas de cero en las entradas y salidas (Azadi & Farzipoor, 2013). El modelo *IMPRECISE-ERGM* evita estos problemas, permitiendo así la incorporación de nuevos factores a considerar en el QFD, tales como costos del servicio, fácil implementación y temáticas ambientales, lo que en definitiva genera un mayor alcance por parte del QFD al momento de seleccionar aspectos para mejoras de calidad.

#### 4.1.2. Sector financiero

El caso de Sherman & Zhu —2006— menciona como el Análisis Envolvente de Datos ha probado ser una excelente metodología de *Benchmarking* para situaciones donde múltiples entradas y salidas deben ser consideradas para la identificación de las mejores prácticas, permitiendo el mejoramiento en la productividad de las organizaciones. Sin embargo la mayoría de los estudios de DEA-*Benchmarking* han excluido a la calidad, incluso en sectores como Salud, donde la calidad es el elemento clave del rendimiento

El caso de estudio evalúa la relación que se intenta establecer, en una red de sucursal de bancos de Estados Unidos. Para llevar a cabo el estudio se analizaron 4 modelos de DEA-Benchmarking.

#### Modelo I Estándar del DEA

Al aplicar el modelo CCR de Charnes, Cooper, & Rhodes —1978— a la medición de productividad de las distintas sucursales, se tiene un enfoque de funcionamiento con una salida —*Output*— de transacciones, y dos entradas —*Inputs*— de horas y otros gastos. El resultado será un puntaje de 1 para la más alta productividad, es decir, la mejor práctica. Puntajes bajo 1 representan unidades

ineficientes en comparación a otras unidades en el estudio. El Modelo I presenta la limitación de no considerar la calidad, cualquier esfuerzo de utilizar la información obtenida sin considerar dicho factor, tiene el riesgo de reducir la calidad de servicio.

### **Modelo II Calidad como salida en un Modelo Estándar del DEA**

Al incluir la medición de la calidad como segunda salida del Modelo Estándar del DEA, la eficiencia de cada sucursal se verá mejorada. Sin embargo existen ciertas sucursales que son definidas por el Modelo I y II como de mejores prácticas, teniendo puntajes de calidad bajos entre 60 y 80 — escala de 0 a 100—. Utilizando este método se genera una compensación entre la alta productividad y la baja calidad, en el caso de poder obtener la información de compensación se puede utilizar el modelo *Cone ratio* del DEA para redefinir las eficiencias (Charnes *et al.*, 1989).

### **Modelo III Dimensiones independientes de Calidad y Productividad**

Este modelo evita automáticamente una compensación de costo- calidad. Para ello se deben considerar como dimensiones independientes la calidad y la productividad, pero los *Benchmarks* de estas dimensiones son considerados simultáneamente. La mejor práctica será definida como alta calidad bajo costo o alta calidad alta productividad (HQ-HP por sus siglas en inglés *high quality low cost or high quality high productivity*). El Modelo III tiene la ventaja de hacer más visibles y manejables las compensaciones de calidad-productividad. Sin embargo incluye las sucursales de baja calidad y alta productividad como parte de las sucursales de referencia, generando que disminuyan los valores de productividad de las otras sucursales y se sobreestime el monto de ahorros posibles de generar.

#### **Modelo IV Ajuste Calidad–DEA (Q-DEA por sus siglas en inglés: *Quality-Adjusted DEA*)**

Ajustar el análisis de productividad del DEA, para eliminar el impacto de las sucursales de baja calidad, es el objetivo principal del Modelo IV. Se propuso un análisis de múltiples etapas de DEA con el fin de desarrollar un estudio donde la mayor parte de las sucursales productivas sean también de alta calidad. Las etapas para la aplicación de dicho modelo fueron las siguientes:

1. Hacer correr el modelo 1.
2. Si el número de unidades de alta productividad /baja calidad es igual a 0 se detiene, en caso contrario se remueven dichas unidades y se inicia nuevamente la etapa 1.

El estudio aplica el Modelo IV Q-DEA, a un banco Estadounidense con más de 200 sucursales distribuidas entre cinco estados, con el fin de reducir los costos de operación, implementando las mejores prácticas en su red de sucursales. La calidad fue medida por medio de compradores falsos haciéndose pasar por clientes, y las medidas de desempeño consideradas se centraron principalmente en declaraciones de ganancias – pérdidas basadas en los gastos, así como el neto de intereses devengados por depósitos y honorarios generados en las sucursales. Los pasos que se llevaron a cabo para la aplicación del modelo son los siguientes:

- Mejorar la calidad de la red de sucursales. Se estableció como puntaje máximo 100 y cualquier sucursal con puntaje bajo 90 sería descartada como sucursal comparativa. El Q-DEA identificó después de muchas iteraciones que 32 sucursales eran altamente eficientes pero de baja calidad. Un promedio de 88 puntos en calidad se obtuvo del total de sucursales de la red. Ante dicha situación se aplazó el uso del *Benchmarking* para reducir costos, y se le dio prioridad a la mejora de la calidad de servicio.
- Usar Q-DEA para reducir los costos de la red de sucursales. La utilización del *Benchmarking* se llevó a cabo cerca de medio año después del primer paso de implementación. La lectura de la nueva información demostró que solo una sucursal no cumplía con el puntaje mínimo de 90 para ser considerada dentro de las comparaciones. El resultado que se obtuvo fue de 46 sucursales de las mejores prácticas, alta calidad alta productividad, 8 baja calidad alta productividad y 175 en puntos intermedios. En la tabla del Anexo B, se presentan los resultados de productividad según el análisis Q-DEA.

- Resultados del Q-DEA *Benchmarking*. Administrativos utilizaron los datos de las mejores prácticas entregados por el estudio del Q-DEA para desafiar a las diversas sucursales a mejorar su rendimiento. Este proceso generó disminución en costos, una amplia variedad de resultados y muchas iniciativas de decisiones. Los recursos ahorrados y potenciales se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. **Recursos ahorrados y de potencial ahorro**

	Plataformas equivalentes a tiempo completo (FTEs)	% De todas las sucursales FTEs	Gastos no relacionados al personal	% De todas las sucursales, gastos no relacionados al personal
Potencial de ahorro de recursos (Q-DEA <i>benchmark rating</i> < 1.0)	422	21%	\$1.3 millones	28%
Ahorro actual (6 meses de Q.-DEA análisis)	149	7,4%	Sin medir	

*Fuente: Editado de Sherman & Zhu, 2006*

De este caso se concluye que la integración del Q-DEA *Benchmarking*, resultó ser una excelente herramienta para mejorar la rentabilidad de la red de Bancos en Estados Unidos. La incorporación de las tres dimensiones de la Calidad en los bancos —accesibilidad, ubicación y servicio telefónico— (Athanassopoulos & Giokas, 2000), es solo el inicio de lo que se podría realizar en servicios como Salud o Educación. En términos de calidad, la integración del DEA-*Benchmarking* permitió en tan solo seis meses pasar de 32 sucursales de alta productividad pero de baja calidad, a 8 sucursales de alta productividad y baja calidad; con ahorros potenciales de recursos de \$1.3 millones en gastos no relacionados al personal (Sherman & Zhu, 2006). Finalmente tomando en consideración el modelo de cadena de reacción de Deming, queda claro que lograr mejoras en calidad debido a la integración del DEA, permitirá disminuciones en costos, mejoras en

productividad, mayores cuotas de mercado, entre otras ventajas en la aplicación del negocio (Kuei *et al.* 2002).

#### 4.1.3. Sector de parques de ciencia y tecnología

El caso analizado, de Mirfakhradini & Azizi —2013— establece que para mejorar el rendimiento de una organización, es vital establecer un sistema de evaluación constante y estructurado a lo largo de toda esta. Debido a la importancia de la evaluación del rendimiento y la labor que cumplen los parques de ciencias y tecnologías en la mejora de un país, el presente caso se propuso evaluar 33 firmas que se encuentran en el “*Yazd Science and Technology Park*” de Irán, por medio de la integración del DEA y la metodología *Six Sigma*.

Cuando hablamos de rendimiento, los expertos señalan que es el grado de cumplimiento hacia un conjunto de objetivos (Ho, 2002). La integración del DEA dentro de la estructura del *Six Sigma* resulta en un efecto que supera lo que puede ser logrado por la aplicación individual de cada uno de ellos; los pasos sugeridos por los autores de este caso para la incorporación del DEA en la metodología *Six Sigma* por medio del ciclo DMAIC, así como, las posibles relaciones del DEA con otras herramientas que faciliten su implementación, se detallan en la Tabla 4.3.

En este caso de estudio, fueron establecidas como DMUs las 33 compañías tecnológicas del parque en la provincia de Yazd. En las entradas se consideraron el total de activos, el gasto en investigación y desarrollo —I+D—, número total de empleados, capital disponible y los costos actuales. Para las salidas se tomó en cuenta el número de patentes, el volumen de exportación, los ingresos por venta, el número de licencias y el número de contratos de diversos tipos.

Tabla 4.3. Pasos para incorporación DEA-SIX SIGMA

DMAIC	Procedimiento para implementar DEA	Otras herramientas facilitadoras para DEA
-------	------------------------------------	---

Definir	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las unidades de toma de decisiones (DMUs)</li> <li>• Definir entradas y salidas involucradas en la evaluación de eficiencia de las DMUs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método Delphi</li> </ul>
Medir	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollar plan de recolección de datos</li> <li>• Recopilar datos de entradas y salidas</li> <li>• Verificar la exactitud y fiabilidad de los datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan de recolección de datos</li> </ul>
Analizar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicar modelo de DEA apropiado para obtener puntajes de eficiencia de los DMUs</li> <li>• Analizar DMUs relativamente eficientes</li> <li>• Analizar DMUs relativamente ineficientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resumen estadístico</li> </ul>
Mejorar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar conjuntos de referencia para unidades ineficientes</li> <li>• Establecer objetivos de rendimientos para todas las unidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planeando mejorar el rendimiento de las unidades ineficientes</li> </ul>
Controlar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar métodos que aseguren el correcto funcionamiento en el futuro</li> <li>• Proporcionar métodos de evaluación del rendimiento en organizaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagrama de caja (<i>Box Plot</i>)</li> </ul>

*Fuente: Editado de Mirfakhradini & Azizi, 2013*

El DEA como una técnica de programación lineal para optimizar, entrega resultados que pueden ser utilizados fácilmente en la etapa de mejora del ciclo DMAIC. Específicamente los resultados obtenidos con DEA pueden proveer conjuntos de referencia para las DMUs ineficientes y establecer objetivos de rendimiento para todas las DMUs.

Por medio de una orientación a las salidas del modelo BCC, se realizó un análisis de sensibilidad, donde se obtuvo como resultado que el total de activos, el gasto en I+D y el capital, son los criterios de entrada más importantes en la evaluación del rendimiento de las compañías tecnológicas. Por su parte, los criterios de salidas más importantes a considerar para la evaluación del rendimiento deben ser el número de licencias y contratos. Finalmente se obtiene que 16 de las 33 compañías son eficientes y 17 ineficientes.

Se concluye de este caso, que en comparación con otras técnicas existentes para la evaluación del rendimiento, el Análisis Envoltante de Datos resulta ser la más apropiada (Patari, Leivo & Honkapuro, 2012). El agregar herramientas facilitadoras de la calidad, por intermedio del ciclo

DMAIC al DEA, permite que la medición del rendimiento se realice de una manera más eficaz, generando mejoras consistentes y optimizadas para las necesidades de cada una de las organizaciones evaluadas. Esto facilita el logro del objetivo más importante, la satisfacción del cliente. Integrar el DEA a la metodología *Six Sigma*, mejora la utilidad del *Six Sigma* y la efectividad del DEA para evaluar y mejorar la eficiencia (Mirfakhradini & Azizi, 2013).

## 4.2. Aplicaciones en Manufactura

### 4.2.1. Optimización de procesos

El primer caso analizado en manufactura, de Al-Refaie & Al-Tahat —2011— menciona que fallar en seleccionar las mejores condiciones de los factores de procesos, es uno de los errores más costosos en los mercados competitivos de hoy en día. El método de Taguchi —1991— es el enfoque ampliamente utilizado para el diseño robusto, el cual, utiliza un arreglo ortogonal —OA— para obtener información confiable acerca de los parámetros de diseño con mínimo tiempo y recursos. Según Taguchi —1991— se adopta una relación señal a ruido —S/N— para interpretar la información experimental y optimizar el rendimiento. No obstante, este método se reconoce como eficiente solamente para determinar la configuración óptima de niveles de factores controlables, los cuales, optimizan un problema de respuesta único. Algunos ejemplos son desgaste de flanco (Chung-Chen & Hong, 2002), espesor de pasta de soldadura (Li, Al-Refaie & Yang, 2008) y la porosidad de fundición (Khoei, Masters & Gethin, 2002).

El mercado competitivo de hoy en día ha obligado a las industrias a producir productos con más de una respuesta, por lo cual, el método de Taguchi se ve enfrentado a la compensación entre la calidad y la productividad. En este contexto, los autores proponen un enfoque eficiente para resolver el problema de múltiples respuestas en el método de Taguchi, utilizando formulación benevolente en el Análisis Envolvente de Datos. Cada experimento con OA es tratado como una Unidad de Toma de Decisiones con múltiples respuestas estableciendo entradas y/o salidas. Cada DMU es evaluada con formulación benevolente; luego las DMU eficientes son usadas para decidir

los niveles de factores óptimos para un problema de múltiples respuestas (Al-Refaie & Al-Tahat, 2011).

Tres casos frecuentemente estudiados son seleccionados para ilustrar el enfoque propuesto; estos son: Optimización del proceso de deposición de polisilicio, optimización de la operación de tallado de engranajes y optimización de la unidad de disco duro. Para llevar a cabo el enfoque propuesto se establecen seis pasos, los cuales, son detallados a continuación.

Paso 1. Tratar cada experimento conducido por OA como una DMU donde la eficiencia relativa es definida como la suma de las ponderaciones de salida dividida entre la suma de las ponderaciones de entrada. Una mejor eficiencia se asocia a un mejor rendimiento, el cual, puede ser alcanzado si la suma de las ponderaciones de salida aumenta y/o la suma de ponderaciones de entrada disminuye.

Paso 2. Evaluar la eficiencia relativa de cada DMU por medio de la utilización del modelo CCR con orientación a la entrada.

Paso 3. Determinar la ponderación óptima de entrada y salida, luego calcular los puntajes de cada DMU para las eficiencias cruzadas. Construir la matriz de eficiencias cruzadas y luego obtener el promedio.

Paso 4. Para optimizar el rendimiento, decidir el valor ordinal de las eficiencias cruzadas, luego calcular su promedio. Seleccionar el nivel de factor que proporciona la mayor mejora anticipada como el factor óptimo de ese nivel.

Paso 5. Repetir pasos 3 y 4 para evaluar el rendimiento de cada DMU.

Paso 6. Estimar la mejora anticipada en cada respuesta debido al establecimiento de los niveles de factores óptimos, luego comparar la mejora anticipada en el enfoque propuesto para cada respuesta con la mejora anticipada lograda por adoptar otros enfoques de estudios previos.

Los resultados obtenidos con el enfoque propuesto fueron para cada caso los siguientes:

- Optimización del proceso de deposición de polisilicio.  
Mayor mejora anticipada por enfoque propuesto — 69.22 dB— versus — 61.5 dB—.



- Optimización de la operación de tallado de engranajes.  
Mayor mejora anticipada por enfoque propuesto — 11.2506 dB— versus — 4.1498 dB—.
- Optimización de la unidad de disco duro.  
Mayor mejora anticipada por enfoque propuesto — 10.681 dB— versus —3.35 dB—.

Los autores propusieron un enfoque para mejorar el problema del método de Taguchi (Padke, 1989), por medio de la formulación benevolente de DEA. Este fue implementado para tres casos, en los cuales se pudo llevar a cabo la incorporación del Análisis Envoltante de Datos de manera satisfactoria en el diseño robusto (Al-Refaie & Al-Tahat, 2011), con el fin de permitir la optimización de múltiples respuestas para problemas de calidad. De los tres casos de estudio que fueron considerados para la implementación del enfoque propuesto, se obtuvieron ciertas ventajas que quedaron al descubierto gracias a los resultados computacionales. El enfoque propuesto resultó ser el más eficiente en resolver problemas de múltiples respuestas y proporcionó la mayor mejora anticipada para los tres casos. A diferencia del método de Taguchi convencional, este método, al incorporar DEA no necesita información previa sobre la importancia de las ponderaciones de respuestas y contrario a las redes neurales o métodos de regresión, puede ser fácilmente entendido e implementado. Desde el punto de vista de la implementación de la formulación benevolente se incrementa la discriminación entre las DMU eficientes.

#### 4.2.2. Industria automotriz

El caso analizado, de Anvari et al —2014— se basa en el *Lean Manufacturing* o manufactura esbelta —LM—, el cual es considerado como un sistema integrado con diversas herramientas y técnicas, enfocándose principalmente en la eliminación de desperdicios y en la obtención de valor agregado, generando así la reducción de costos. Numerosas herramientas y técnicas han sido desarrolladas para abordar determinados problemas de actividades que no aportan valor agregado e impiden una manufactura esbelta (Álvarez *et al.*, 2009). Sin embargo, comparado con los esfuerzos hechos para abordar el “cómo volverse esbelto”, el “cómo es el sistema esbelto” recibe muy poca o nula atención. Una medida integrada, objetiva y cuantitativa de cómo herramientas y técnicas afectan lo esbelto de un sistema, no ha sido considerada o establecida por los expertos en *Lean Manufacturing* (Anvari *et al.*, 2014).

En este caso los autores proponen una metodología para cuantificar lo esbelto de los sistemas de manufactura, basándose en la utilización del Análisis Envolvente de Datos. El objetivo es clarificar y clasificar la efectividad de herramientas y técnicas utilizando un proceso de jerarquía analítica cualitativa integrada —AHP—, y el Análisis Envolvente de Datos con enfoque para variables deseables y no deseables. Dicho enfoque se aplica en situaciones en que la naturaleza lógica de las entradas y salidas se ve afectada. Las entradas deberían tender a disminuir y las salidas a aumentar, pero en ciertas ocasiones dichos ítems no son favorables. Un ejemplo son los productos defectuosos, que al ser entendidos como salidas se busca su aumento, sin embargo, es necesario clasificar estas salidas como no deseadas, de manera de buscar reducir las al máximo posible. Variados estudios de la aplicación del DEA, asumen que la reducción de entradas y salidas no deseadas, es proporcional al incremento de salidas deseadas (Zhang, Lee & Chen, 2011).

Para el modelo propuesto en este caso, se establecen los costos y tiempos de espera como variables de entrada, y los defectos y valor percibido como variables de salida. La clasificación y la eficiencia de las herramientas del *Lean Manufacturing* se obtienen por medio del método BCC. Los pasos que se llevaron a cabo para la implementación del modelo en la industria automotriz, son los siguientes:

1. Identificar los criterios que afectan la evaluación de operaciones y generar una lista de herramientas y técnicas del *Lean Manufacturing*.
2. Determinar técnicas fundamentales por medio de votación.
3. Realizar una comparación de pares y recolectar información —Ponderaciones—.
4. Modificar las ponderaciones de las técnicas utilizando un proceso de jerarquía analítica.
5. Cambiar lo no deseado a deseado por medio de cálculos, utilizando un función de maximizar.
6. Utilizar el DEA para ponderar las alternativas sobre la base de cuatro criterios como entradas y salidas.
7. Verificar los resultados del DEA por medio de algún criterio, en caso de no ser validado volver al paso 4.
8. Analizar los resultados obtenidos con DEA.

La información utilizada para verificar este modelo proviene del informe de investigación publicado por Wan & Chen —2008—. Se establecen 13 técnicas por medio de votación, como las más importantes y son establecidas como DMUs. Las comparaciones por pares de los cuatro criterios fueron realizadas por juicio de cinco expertos, finalmente en el grupo de frontera eficiente, compuesto por cinco técnicas del *Lean Manufacturing* que lograron puntajes de 1,0, se encuentran: Flujo continuo, *poka-yoke*, estandarización, sincronización y mantenimiento productivo total. La clasificación de las herramientas se basa en la eficiencia obtenida por cada una de estas. La Tabla 4.4. presenta los resultados del puntaje de eficiencia y su clasificación.

Tabla 4.4. Resultados de eficiencia y clasificación

Número	Alternativas de herramientas	Eficiencia	Clasificación
1	5S	0,7634957	9
2	<i>Six Sigma</i>	0,9795341	3
3	<i>Cellular</i>	0,9626443	4
4	Flujo Continuo	1	1
5	<i>Jidoka</i>	0,8660377	6
6	Nivelación	0,9877086	2
7	<i>Multiskill</i>	0,7673754	8
8	<i>Poka-yoke</i>	1	1
9	<i>Pull system</i>	0,8462198	7
10	<i>Setup reduction</i>	0,9467484	5
11	<i>Standard Works</i>	1	1
12	Sincronizar	1	1
13	TPM	1	1

*Fuente: Editado de Anvari et al., 2014*

De los resultados de este caso, se observa que el establecimiento del AHP-DEA con enfoque para variables deseables y no deseables, es una posible solución al problema de los juicios subjetivos de la Manufactura Liviana que se generan al determinar la importancia y efectividad de una u otra herramienta del LM. Además, demostró ser un método que mejora la posibilidad de discriminar por diversas herramientas, al considerar factores cuantitativos y cualitativos, dentro de esta decisión de múltiples criterios. La metodología propuesta por los autores se presenta como una ayuda para los expertos en LM, entregando una lista de herramientas que facilitan la definición de objetivos y

la implementación del LM (Anvari et al., 2014). La red de procesos propuestos en este caso, podría ser utilizada en estudios de selección de herramientas de LM en otras industrias y países.

Si se comparan los resultados obtenidos por medio de la metodología DEA, con estudios anteriores que buscaban clasificar las diferentes herramientas del LM según su efectividad, es posible encontrar diferencias en los resultados de los rankings. Lo anterior se debe principalmente a que los estudios previos utilizaban un enfoque basado en el problema, en cambio, la metodología que se utilizó considera un enfoque basado en la holística, la estructura, y los procedimientos sistemáticos. Un enfoque holístico permite la obtención de una mejora sostenida, que ofrece una visión global de lo que se debe hacer, y conduce hacia un sistema estructurado (Garfamy, 2006).

Finalmente, el método integrado descrito en este caso puede ser utilizado para categorizar herramientas del LM y otras metodologías de forma sistemática y lógica, por lo que hace la selección de herramientas más fácil para las organizaciones al utilizar DEA en este caso, el cual puede ser extrapolado a contextos similares.

#### 4.2.3. **Industria de bebestibles**

La posibilidad de incorporar el DEA a la metodología *Six Sigma*, y en particular con el Método de Taguchi, no se limita exclusivamente a aplicaciones en servicios. En este caso de Lin, Wang, & Li —2012— se analizó la producción de bebidas a base del hongo *Ganoderma Lucidum*, con el objetivo principal de mejorar la producción de dicho hongo a partir de la fermentación de soja por medio de la metodología *Six Sigma*. La razón de incorporar el Análisis Envoltante de Datos a este proceso de mejora, se basa en determinar con ayuda de un AHP, los factores más influyentes en la producción del *Ganoderma Lucidum*. Los resultados obtenidos dieron como factores primordiales, debido a la incidencia en los parámetros del proceso, al tamaño del inóculo, la cantidad de oxígeno disuelto y la temperatura. El rango del parámetro obtenido se utilizó como referencia para los niveles de factor de control en el Método de Taguchi. El objetivo de esta última metodología incorporada, yace en analizar los grados de contribución de variados parámetros de control del proceso, para luego obtener la combinación óptima de estos para la mayoría de los polisacáridos.

Finalmente, se obtiene como combinación óptima un tamaño del inóculo de 7%, oxígeno disuelto al 70%, y una temperatura de 31 grados Celsius. Con los mismos factores fijos, la salida de polisacáridos *Ganoderma Lucidum* está entre 2,59-4,56 g/kg antes de las mejoras. Después de las mejoras el valor de salida de polisacáridos *Ganoderma Lucidum* obtenidos es de 4,58-4,93 g/kg.

Este caso, abre la posibilidad de integrar el Análisis Envolvente de Datos a un grupo de herramientas de la calidad, permitiendo así, mejoras en el funcionamiento individual y colectivo de las metodologías.

### 4.3. Observaciones Finales

Aún son escasas las aplicaciones de integración de las metodologías de Gestión de la calidad y el Análisis Envolvente de Datos. Los casos analizados encontrados en la bibliografía revisada a la fecha, proceden en su mayoría de la última década y dejan en claro la existencia de beneficios mutuos ante la integración de las metodologías estudiadas. Al hacer una revisión de los avances generados en los últimos 37 años del Análisis Envolvente de Datos, desde el trabajo fundamental de Charnes, Cooper y Rhodes en 1978, se hace evidente el constante desarrollo y evolución en los modelos del DEA (Cook & Seiford, 2009). Esto último genera que los autores de los casos analizados, consideren distintos modelos de DEA para sus investigaciones. No existe a la fecha, consenso sobre el criterio para utilizar uno u otro modelo DEA en combinación con las herramientas de la calidad. Por tal razón, no es posible identificar *a priori* el modelo más adecuado de integración, quedando a criterio del investigador, determinar cuál modelo utilizar.

## **CAPÍTULO 5**

# **RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD Y EL DEA**

## Capítulo 5. Relación entre los Sistemas de Gestión de la Calidad y el DEA

En el presente capítulo se aborda el objetivo principal de este estudio —Establecer las posibles relaciones entre los Sistemas de Gestión de la Calidad y el Análisis Envolvente de Datos—, para ello se analiza la información recopilada en los capítulos anteriores. De dicho análisis debe surgir la respuesta a la incógnita fundamental a la cual se enfrenta este estudio.

*¿Existe una relación entre los Sistemas de Gestión de la Calidad y el Análisis Envolvente de Datos?*

### 5.1. Principales Limitaciones

En los capítulos anteriores, diferentes metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad fueron seleccionadas para determinar la viabilidad de su integración con el DEA. Cada metodología —QFD, *Lean Manufacturing*, *Benchmarking*, *Six Sigma* y *Taguchi Method*— fue estudiada individualmente, para luego hacer una revisión bibliográfica de casos prácticos que consideran el DEA como una herramienta a integrar en cada una de las metodologías. Sin embargo, existen ciertas limitaciones en cuanto a lo que este estudio puede abarcar en sus resultados o conclusiones. Primero, existe una variedad de aplicaciones prácticas de las metodologías de los QMS que no han sido consideradas en el presente estudio, principalmente por la inexistencia de casos que integren al DEA. Segundo, los Sistemas de Gestión de la Calidad poseen una amplia gama de herramientas y metodologías disponibles para generar análisis ante una posible integración con el DEA; sin embargo, debido a la extensión de este trabajo, un número limitado de estas fue establecido desde un comienzo, utilizando las más importantes según disponibilidad de recursos bibliográficos y la cantidad de casos prácticos existentes.



## 5.2. Posibilidades de Integración

En la Tabla 5.1. y 5.2. se encuentra resumida la información recopilada en este estudio sobre las diversas metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad que fueron consideradas, así como las diversas áreas de los casos prácticos que tenían integración con el Análisis Envolvente de Datos. La Tabla 5.1. permite comprender la existencia de integración entre cada metodología y el DEA en Servicios, según área de interés. Todo esto basado en el estudio de casos realizado.

Tabla 5.1. Integración según área de interés en Servicios

Metodología	Salud	Finanzas	Parques de Ciencia y Tecnología
<i>Six Sigma</i>	✓		✓
<i>Taguchi Method</i>			
QFD	✓		
<i>Lean Manufacturing</i>			
<i>Benchmarking</i>		✓	

Fuente: *Elaboración Propia*

Siguiendo la lógica de la Tabla 5.1., se muestra que de acuerdo a los casos revisados en este estudio, el DEA se ha integrado, por ejemplo, a la metodología *Six Sigma* en aplicaciones de Servicios en Salud y Parques de Ciencia y Tecnología.

Por su parte la Tabla 5.2. permite comprender la existencia de integración entre cada metodología y el DEA en Manufactura, según área de interés. Todo esto basado en el estudio de casos realizado.

Tabla 5.2. Integración según área de interés en Manufactura

Metodología	Industria Automotriz	Industria de Bebestibles	Otros Procesos Industriales
<i>Six Sigma</i>		✓	
<i>Taguchi Method</i>		✓	✓
QFD			
<i>Lean Manufacturing</i>	✓		
<i>Benchmarking</i>			

Fuente: *Elaboración Propia*

Siguiendo la lógica de la Tabla 5.2., se muestra que de acuerdo a los casos revisados en este estudio, el DEA se ha integrado, por ejemplo, al *Taguchi Method* en aplicaciones de Manufactura en la Industria de Bebestibles y Otros Procesos Industriales.

### 5.3. Beneficios obtenidos

En la presente sección se recopilan y detallan los beneficios obtenidos por las metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad y el Análisis Envolvente de Datos, al generar la integración de ambos, información que se fundamenta en los casos prácticos analizados en el capítulo anterior.

#### ➤ *Six Sigma:*

La integración del Análisis Envolvente de Datos a la metodología *Six Sigma*, genera una ampliación en el campo de utilización de esta herramienta de la calidad, y una mejora considerable

en los análisis de rendimientos de organizaciones. Por otro lado, el DEA realiza mediciones de eficiencia relativa, lo que se alinea con uno de los principios fundamentales del *Six Sigma*, el principio de la mejora continua. A diferencia de los métodos gráficos comúnmente utilizados con *Six Sigma*, el DEA aporta un análisis cuantitativo en la determinación de la productividad. En otras palabras, la integración de estas metodologías, mejora la utilidad del *Six Sigma* y la efectividad del Análisis Envolvente de Datos; esto último debido a la aplicación del ciclo DMAIC del *Six Sigma* en el DEA.

➤ **Método de Taguchi:**

La posibilidad de integrar el Análisis Envolvente de Datos al Método de Taguchi, soluciona una de las mayores deficiencias de esta herramienta de la calidad, el no poder resolver problemas de diseño que posean más de una respuesta. La incorporación del DEA como mejora al Diseño Robusto, no solo soluciona las situaciones de las múltiples respuestas, sino que también, limita las situaciones de compensación entre calidad y productividad que puedan ocurrir en las fases de diseño por medio del Método de Taguchi. Es así que la formulación benevolente —la cual se utiliza para aumentar la discriminación entre las DMUs eficientes— del DEA permite optimizar problemas de múltiples respuestas, y logra la mayor mejora anticipada. Por otro lado, al integrar el DEA no se requerirá información previa sobre la importancia de las ponderaciones de respuestas y contrario a las redes neurales o métodos de regresión, resulta ser una metodología fácil de estudiar e implementar.

➤ **QFD:**

Complementar con el Análisis Envolvente de Datos la herramienta de Despliegue de la Función de la Calidad permite determinar la importancia de los requerimientos de diseño por medio de una técnica matemática y objetiva, dejando de lado los juicios subjetivos comúnmente presentes en el QFD tradicional. Dado que los modelos CCR y BCC no consideran holguras distintas de cero en entradas y salidas, es importante considerar el método *IMPRECISE* ERGM, como más apropiado. Este último método permite incorporar factores tales como los costos de servicios, facilidad de implementación y temáticas ambientales, mejorando así el alcance por parte del Despliegue de la Función de la Calidad, al considerar nuevos aspectos para las mejoras.

➤ ***Lean Manufacturing:***

Integrando el Análisis Envolvente de Datos al *Lean Manufacturing*, se soluciona el problema de los juicios subjetivos generados al determinar la importancia y efectividad de las herramientas del LM para cada situación particular. El contar con factores cuantitativos y cualitativos, dentro de una decisión de múltiples criterios, facilita el trabajo de los expertos; por otro lado, la utilización de un enfoque holístico del DEA, permite obtener mejoras sostenidas y una visión global acerca de lo que se debe hacer. La lista de procesos propuestos en el caso del capítulo anterior, podría ser utilizada para la selección de herramientas del *Lean Manufacturing* en otras industrias.

➤ ***Benchmarking:***

El DEA ha probado ser una excelente técnica para situaciones de múltiples entradas y salidas, pero para considerar al DEA como una técnica fundamental de *Benchmarking*, se requiere incluir a la calidad como parte de las bases principales, permitiendo así disminuciones en el número de DMUs evaluadas con alta productividad y baja calidad, generando más DMUs de alta calidad y productividad. Basados en el modelo de la Cadena de Reacción de Deming, la utilización del DEA con dimensiones de la calidad, permite mejoras en términos de disminución de costos, productividad, beneficios, alcance de mercado, entre otras.

En el capítulo anterior, se tuvo la oportunidad de revisar un caso donde dos metodologías son puestas a trabajar en conjunto con el DEA. En dicho caso, el *Six Sigma* fue la metodología encargada de generar las mejoras, para ello el DEA debió determinar los factores más influyentes en el proceso. El Método de Taguchi utilizando la información obtenida del DEA, analizó los parámetros del proceso, para posteriormente obtener la combinación óptima de estos. Esto lleva a concluir que los beneficios que se puedan obtener con la integración del DEA a las metodologías de la calidad, no se ven limitados a un nivel individual, y es posible su utilización a un nivel más colectivo.

En términos generales, dentro de los beneficios de la incorporación del DEA para los Sistemas de Gestión de la Calidad, se encuentran:

- Ampliación de los campos de utilización.
- Eliminación de la subjetividad, a la que muchas veces se ven sujetos los QMS.

- Posibilidad de resolver problemas que antes no estaban al alcance.

Con el fin de responder a la pregunta realizada al inicio de este capítulo, es posible determinar que existe una relación incipiente entre los Sistemas de Gestión de la Calidad y el Análisis Envoltante de Datos. Basándose en los casos analizados en este estudio, se hace evidente la tendencia a la integración del DEA como herramienta en Sistemas de Gestión de la Calidad en la última década.

#### **5.4. Observaciones Finales**

Este último capítulo deja en evidencia situaciones que son convenientes de considerar a la hora de concluir con el estudio.

- Si bien algunos autores se han planteado los beneficios de utilizar el DEA para las metodologías de QMS, es necesario realizar investigación en relación a seleccionar métodos adecuados del DEA según tipo de herramienta.
- La información recabada deja en claro la importancia de las herramientas de QMS para las organizaciones y mercados competitivos.
- La bibliografía revisada, resalta la importancia que ha tomado el DEA desde sus inicios para la optimización de la eficiencia y rendimiento en organizaciones y sectores públicos.

**CAPÍTULO 6**  
**CONCLUSIONES**

## Capítulo 6. Conclusiones

### 6.1. Conclusiones

El propósito de este estudio se centró en determinar la existencia de relaciones de integración, entre diversas metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad y la herramienta matemática del Análisis Envolvente de Datos. Para ello se establecieron tres objetivos específicos en torno a los cuales se desarrolló este estudio.

Retomando los objetivos específicos establecidos en el capítulo uno, el primero hace referencia a identificar herramientas y metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad, por lo cual, por medio de un estudio de fuentes bibliográficas, se determinaron aquellas con mayor disponibilidad de información teórica y de casos prácticos que se alinearan con el propósito del estudio. *Six Sigma*, *Lean Manufacturing*, *Quality Function Deployment*, *Benchmarking* y *Taguchi Method*, fueron las herramientas y metodologías que se consideraron en el marco teórico como aquellas que podían presentar mayores oportunidades de integración, dado su frecuente nivel de uso. El cumplir con el primer objetivo específico, implicó obtener las bases suficientes en lo que respecta al funcionamiento y características de cada una de las metodologías.

El segundo objetivo específico se centró en analizar aplicaciones del Análisis Envolvente de Datos a los Sistemas de Gestión de la Calidad en áreas prioritarias. Para ello fue necesario de una búsqueda exhaustiva en recursos secundarios de casos de servicios y manufactura, que contemplaran al DEA como una opción de mejora y optimización, a lo que tradicionalmente herramientas de la calidad pueden lograr. Siete casos fueron recopilados de la literatura revisada, lo cuales fueron analizados, cuatro en servicios y tres en manufactura, aportando información sobre metodologías de integración y resultados de aplicaciones reales. La mayoría de otros casos identificados se relacionan con la metodología *Seis Sigma*, pero al ser repetitivos, no se incorporaron a este estudio.

Como último objetivo específico, se planteó estudiar los beneficios de contar con el Análisis Envolvente de Datos para los Sistemas de Gestión de la Calidad. La información aportada por el segundo objetivo específico fue fundamental para determinar los beneficios requeridos por el tercero. De esta forma, se identificaron los principales beneficios obtenidos por los QMS al

incorporar el DEA, entre los cuales destacan como comunes: la ampliación de los campos de utilización, la eliminación de la subjetividad —a la que muchas veces se ven sujetos los QMS— y la posibilidad de resolver problemas que antes no estaban al alcance de los QMS.

Finalmente, el estudio realizado y la información recopilada, determinaron la existencia de relaciones positivas entre los Sistemas de Gestión de la Calidad y el Análisis Envolvente de datos, así como los beneficios de contar con el DEA para los QMS.

Las directrices para futuras investigaciones en esta área, podrían considerar, estudios con mayor cantidad de metodologías de los Sistemas de Gestión de la Calidad, la realización de casos de aplicación, donde comprobar los pasos y resultados de la integración del DEA a los QMS, establecer el campo de utilización de los distintos modelos de DEA para la calidad, etc. Adicionalmente, las tendencias de integración presentadas en este estudio, son una importante oportunidad que se espera, investigadores tomarán para compartir con la comunidad científica. Este es un primer estudio exploratorio que debe ser profundizado hacia otras áreas de servicios y manufactura, por ejemplo; servicios públicos, educación e industria de alimentos.



**Bibliografía**

- Akao, Y. (2004). QFD: Quality Function Deployment - Integrating Customer Requirements into Product Design. 1990.
- Al-Refaie, A., & Al-Tahat, M. D. (2011). Solving the multi-response problem in Taguchi method by benevolent formulation in DEA. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(4), 505–521.
- Álvarez, R., Calvo, R., Peña, M. M., & Domingo, R. (2009). Redesigning an assembly line through lean manufacturing tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(9-10), 949–958.
- Andersen, B. (1999). Industrial benchmarking for competitive advantage. *Human Systems Management*, 18(3/4), 287.
- Angulo-Meza, L., & Estellita Lins, M. P. (2002). Review of methods for increasing discrimination in data envelopment analysis. In *Annals of Operations Research* (Vol. 116, pp. 225–242).
- Antony, J., Kumar, M., & Madu, C. N. (2005). Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations.
- Anvari, A., Zulkifli, N., Sorooshian, S., & Boyerhassani, O. (2014). An integrated design methodology based on the use of group AHP-DEA approach for measuring lean tools efficiency with undesirable output. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9-12), 2169–2186.
- Athanassopoulos, A. D., & Giokas, D. (2000). The use of data envelopment analysis in banking institutions: Evidence from the Commercial Bank of Greece. *Interfaces*, 30(2), 81–95.
- Azadi, M., & Farzipoor Saen, R. (2013). A combination of QFD and imprecise DEA with enhanced Russell graph measure: A case study in healthcare. *Socio-Economic Planning Sciences*, 47(4), 281–291.
- Benner, M., Linnemann, a. R., Jongen, W. M. F., & Folstar, P. (2003). Quality Function Deployment (QFD)—can it be used to develop food products? *Food Quality and Preference*, 14(4), 327–339.

- Ávila, M., Navarro., & Puello. (2012). ¿Fue eficiente la asignación de recursos en el suministro de agua potable en el departamento de Bólvivar-Colombia en el periodo 2007-2008? 1, 8(1), 58–70.
- Camisión, C., & Cruz, S. (2006). Gestión de la calidad
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Wei, Q. L., & Huang, Z. M. (1989). Cone ratio data envelopment analysis and multi-objective programming. *International Journal of Systems Science*.
- Chen, H.-C., Hsu, S.-Y., Chang, T.-L., & Yang, S.-L. (2010). Applying DEA and Taguchi methods in plant selection and optimal layout to increase commerce management environment quality. *African Journal of Business Management*, 4(18), 4079–4085.
- Cherry, B. J., Fache, M. S., & Seshadri, S. (2000). Six Sigma : Using Statistics to Reduce Process Variability and Costs in Radiology. *Radiology Management*, 42–45.
- Chung-Chen, T., & Hong, H. (2002). Comparison of the tool life of tungsten carbides coated by multi-layer TiCN and TiAlCN for end mills using the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 123(1), 1–4.
- Cook, W. D., & Seiford, L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA) - Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, 192(1), 1–17.
- Cooper, W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. *Journal of Econometrics*, (Vol. 46). Springer.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software: Second edition. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software: Second Edition*.
- De Mast, J. (2006). Six Sigma and competitive advantage. *Total Quality Management & Business Excellence*, 17(4), 455–464.
- Design, R., At, M., Back, T. H. E., Of, E. N. D., Development, P., Attempt, A. N., Gremyr, I. (n.d.). Robust design methodology at the back - end of product development process : an attempt towards sustainable development Vanajah Siva.
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2008). Administración y control de la calidad.

## Bibliografía

- Feng, Q., & Antony, J. (2009). Integrating DEA into Six Sigma methodology for measuring health service efficiency. *Journal of the Operational Research Society*, 61(7), 1112–1121.
- Garfamy, R. M. (2006). A data envelopment analysis approach based on total cost of ownership for supplier selection. *Journal of Enterprise Information Management*, 19(6), 662–678.
- Glover, F., & Sueyoshi, T. (2009). Contributions of Professor William W. Cooper in Operations Research and Management Science. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 1–16.
- Golany, B. (1988). An Interactive MOLP Procedure for the Extension of DEA to Effectiveness Analysis. *Journal of the Operational Research Society*.
- Hernández Matías, J. C., & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean Manufacturing. Concepto, técnicas e implantación*.
- Herrmann, A., Huber, F., Algesheime, R., & Tomczak, T. (2006). An empirical study of quality function deployment on company performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Ho, C. (2002). Performance Evaluation for 59 Listed Electronic Corporations in Taiwan.
- Hosseinzadeh Lotfi, F., Noora, A. A., Jahanshahloo, G. R., Gerami, J., & Mozaffari, M. R. (2010). Centralized resource allocation for enhanced Russell models. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 235(1), 1–10.
- Institute of Industrial Engineers. (n.d.). Quality control & reliability engineering (qcre). <https://www.iienet2.org/details.aspx?id=898> Visitada durante Mayo 2015.
- Jetmarová, B. (2011). Comparison of best practice, 2, 76–84.
- Kabnurkar, A. (2001). Mathematical Modeling for Data Envelopment Analysis with Fuzzy Restrictions on Weights, 245.
- Khoei, A. R., Masters, I., & Gethin, D. T. (2002). Design optimisation of aluminium recycling processes using Taguchi technique. *Journal of Materials Processing Technology*, 127(1), 96–106.
- Koning, H. De, & Mast, J. De. (2005). Grounding of Six Sigma's Breakthrough Cookbook: how to research a methodology? *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(3), 263.

- Kuei, C.-H., Madu, C. N., Lin, C., & Chow, W. S. (2002). Developing supply chain strategies based on the survey of supply chain quality and technology management. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Kumar, M., Tiwari, M. K., Wong, K. Y., Govindan, K., & Kuah, C. T. (2014). *Evaluating Reverse Supply Chain Efficiency : Manufacturer ' s Perspective*, 2014.
- Lee, H., & Kim, C. (2014). Benchmarking of service quality with data envelopment analysis. *Expert Systems with Applications*, 41(8), 3761–3768.
- Li, M. H. C., Al-Refaie, A. R. A., & Yang, C. Y. (2008). DMAIC approach to improve the capability of SMT solder printing process. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 31(2), 126–133.
- Madhav S.Padke. (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. AT & T Bell Laboratories.
- Martić, M. M., Novaković, M. S., & Baggia, A. (2009). Data Envelopment Analysis - Basic Models and their Utilization. *Organizacija*, 42(2), 37–43.
- Maza-ávila, F. J., Quesada-ibargüen, V. M., & Vergara-schmalbach, J. C. (2013). eficiencia y productividad de la calidad educativa en municipios del departamento de, 9(2), 28–39.
- Mirfakhradini, S. H., & Azizi, F. (2013). Integration DEA into Six Sigma Methodology for Performance Evaluation of Yazd Science and Technology Park Technological Companies, 3(7), 987–997.
- Patari, E., Leivo, T., & Honkapuro, S. (2012). Enhancement of equity portfolio performance using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 220(3), 786–797.
- Raisinghani, M. S., Ette, H., Pierce, R., Cannon, G., & Daripaly, P. (2005). Six Sigma: concepts, tools, and applications. *Industrial Management & Data Systems*, 105(4), 491–505.
- Sherman, H. D., & Zhu, J. (2006). Benchmarking with quality-adjusted DEA (Q-DEA) to seek lower-cost high-quality service: Evidence from a U.S.bank application. *Annals of Operations Research*, 145(1), 301–319.
- Tang, L. C., Goh, T. N., Lam, S. W., & Zhang, C. W. (2007). Fortification of six sigma: Expanding the DMAIC toolset. In *Quality and Reliability Engineering International* (Vol. 23, pp. 3–18).
- Wagner, C., De Bakker, D. H., & Groenewegen, P. P. (1999). A measuring instrument for evaluation of quality systems. *International Journal for Quality in Health Care : Journal of the International Society for Quality in Health Care / ISQua*, 11(2), 119–130.

## **Bibliografía**

Yacuzzi, E., Martín, F., & Pharma, A. (n.d.). Qfd: conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos Enrique Yacuzzi (Universidad del CEMA) Fernando Martín (Aventis Pharma), 1–37.

Zhang, X., Lee, C., & Chen, S. (2011). Supplier evaluation and selection: a hybrid model based on DEAHP and ABC. *International Journal of Production Research*, 1–13.



**Anexo B:** Resultados de productividad según el análisis Q-DEA.

Q-DEA Productivity rating	# of branches	
1	46	Best practice—High-quality/High-productivity Less-productive branches
.90 – .99	28	
.80 – .89	41	147 branches
.70 – .79	37	with ratings below .90
.60 – .69	27	
.50 – .59	30	42 branches with ratings below .6
.40 – .49	12	Suggests that they are using 40% more resources than best-practice benchmark branches.