



Caracterización de Design for Six Sigma en Industrias Manufactureras y de Servicios: Una Revisión Sistemática

Characterizing Design for Six Sigma in Manufacturing and Service Industries: A Systematic Review

Zoraida M. López^a, Andrea Insfran-Rivarola^{a,*}, Ana Arévalos^a, Regina León^a, Carlos Zepeda-Lugo^b

^aLaboratorio de Producción y Métodos, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay

^bInstituto de Servicios de Salud Pública del Estado de Baja California, Departamento de Conservación y Mantenimiento de la Jurisdicción de Servicios de Salud, Ensenada, México

*Corresponding author: andrea.insfran@ing.una.py

Abstract—Industries adopt Design for Six Sigma (DFSS) to prevent defects from the beginning of the design of products and services and avoid costly corrections in later phases while meeting customer requirements, optimizing quality, and reducing costs. This study characterizes factors, techniques, and tools of this methodology applied in manufacturing and service industries through a literature review following PRISMA criteria. The search was carried out in Scopus, Dialnet, and Science Direct databases, and included open-access studies related to DFSS between 2014 and 2023. 53 papers that applied DFSS approaches and tools to develop products and services were reviewed: 40 in manufacturing and 13 in services. Italy contributed 17% of the papers. The most applied approaches were DMADV and IDDOV, while the most used tools were QFD (Quality Function Deployment) and House of Quality.

Keywords—Design for Six Sigma, DFSS tools, manufacturing.

Resumen—Las industrias utilizan Design for Six Sigma (DFSS) para prevenir defectos desde el inicio del diseño de productos y servicios, y evitar costosas correcciones en fases posteriores, satisfaciendo los requisitos del cliente, optimizando la calidad y reduciendo costos. Este estudio caracteriza factores, técnicas y herramientas de esta metodología aplicada en industrias manufactureras y de servicios mediante una revisión bibliográfica siguiendo los criterios de PRISMA. La búsqueda se llevó a cabo en las bases Scopus, Dialnet y Science Direct, y se incluyeron estudios relacionados a DFSS entre 2014 y 2023 de acceso completo. Fueron revisados 53 trabajos que aplicaron enfoques y herramientas DFSS para desarrollar productos y servicios: 40 en manufactura y 13 en servicios. Italia contribuyó con el 17% de los trabajos. Los enfoques más aplicados fueron DMADV y IDDOV, mientras que las herramientas más utilizadas fueron QFD (Quality Function Deployment) y House of Quality.

Palabras Claves—Design for Six Sigma, herramientas DFSS, manufactura.

I. INTRODUCCIÓN

Desarrollar nuevos productos en el menor tiempo posible, con precios competitivos y calidad, atendiendo a la dinámica del mercado consumidor y las fluctuaciones económicas, ha sido un gran desafío para el mundo empresarial. La innovación ha impulsado un cambio

en el enfoque de las organizaciones, que han pasado de ser reactivas a adoptar un enfoque proactivo. Sin embargo, no solo se trata de crear diseños, sino también de desarrollar procesos que permitan prever defectos incluso antes de la producción en masa, mejorando así la confiabilidad y eficiencia del producto final [1]. En este contexto, Design for

Six Sigma (DFSS) se presenta como una estrategia crucial para el crecimiento empresarial sostenido.

DFSS es definido como una metodología que emplea herramientas estadísticas para diseñar productos y procesos capaces de cumplir con los requisitos del cliente de manera más eficiente y confiable [2], [3]. Su esencia radica en prever la calidad del diseño por adelantado e impulsar la medición y mejora de la calidad durante las primeras fases del diseño [4].

La aplicación de DFSS proporciona una forma de desarrollar tanto el diseño del producto como el proceso involucrado, permitiendo erradicar o minimizar defectos antes de la producción a gran escala [5]. La implementación exitosa de DFSS en una organización puede generar beneficios significativos, como la reducción de la variabilidad del proceso, el aumento de la rentabilidad, la disminución de costos operativos, el aumento de la productividad, la reducción del tiempo de ciclo y la mejora en la satisfacción del cliente [6].

Sin embargo, [7] afirman que las acciones correctivas para mejorar las vulnerabilidades de los diseños son costosas y solo marginalmente efectivas. La referencia [8] destaca que los problemas suelen detectarse en fases avanzadas del ciclo de vida del producto, lo que incrementa los costos de rectificación. Es aquí donde DFSS emerge como un enfoque sistemático para el desarrollo de productos, ayudando a abordar estos desafíos desde el inicio.

DFSS integra los principios de Six Sigma en el diseño, enfocándose en la robustez tanto del diseño como del proceso del producto, garantizando su rendimiento en diversas condiciones de uso, e identificando problemas potenciales de manera preventiva. A pesar de su potencial, su implementación presenta diversos desafíos, particularmente en diferentes contextos industriales y geográficos y aún existe una falta de conocimiento consolidado sobre cómo se ha aplicado y qué resultados se han obtenido en diferentes sectores y contextos empresariales. DFSS ha sido adoptado con distintos niveles de éxito en diversas industrias, tanto manufactureras como de servicios. Esta variabilidad puede atribuirse a factores como la complejidad del proceso de diseño, la cultura organizacional y la disponibilidad de recursos.

En la industria manufacturera, donde los procesos son más tangibles y medibles, DFSS ha tenido mayor aceptación. En contraste, en la industria de servicios, donde la calidad es más difícil de cuantificar y los procesos son más intangibles, su implementación ha resultado más desafiante [9]. A nivel regional, la adopción de DFSS en América del Sur es notablemente menor en comparación con otras regiones como América del Norte, Europa y Asia, dejando una gran brecha por recorrer en cuanto a lograr difundir y aplicar adecuadamente la metodología. Esto se debe en parte a la falta de casos de estudio locales y de formación especializada, lo que dificulta la comprensión de cómo adaptar DFSS a los contextos específicos para mejorar el diseño de productos y servicios.

Este trabajo se enfoca en caracterizar los factores, técnicas y herramientas de la metodología DFSS aplicada en industrias manufactureras y de servicios. El objetivo es identificar a través de una revisión sistemática, cómo DFSS se utiliza en el desarrollo de productos y servicios, y explorar los desafíos y factores que contribuyen a su éxito o fracaso en diferentes sectores. Además, se proporciona una base de conocimiento sólida para que las organizaciones tomen decisiones informadas y estratégicas en el diseño de productos y procesos, lo que puede resultar en ventajas competitivas y un mejor rendimiento empresarial.

II. METODOLOGÍA

Este trabajo fue basado en una revisión sistemática de la literatura desarrollada bajo las directrices de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), con el objetivo de caracterizar la aplicación de la metodología DFSS en las industrias manufactureras y de servicios. Aunque el proceso se adhiere a las etapas de la revisión sistemática según PRISMA, cabe destacar que no se realizó un meta-análisis debido a la heterogeneidad de los estudios incluidos. Se describen a continuación las etapas metodológicas implementadas.

A. Estrategia de búsqueda

De manera a obtener estudios relevantes y revisados por pares evaluadores, la búsqueda bibliográfica fue llevada a cabo en las bases de datos Scopus, Dialnet y Science Direct utilizando las palabras clave “Design for Six Sigma” o “Design for 6 Sigma” o “DFSS” en el título (allintitle). De manera a abarcar avances recientes en sectores tanto de manufactura como de servicios, la búsqueda abarcó literatura existente entre los años 2014 y 2023, fue limitada a artículos en inglés y de acceso completo.

B. Selección de estudios

La selección de estudios se realizó en dos fases. En la primera fase, se revisaron los títulos y resúmenes de los artículos para determinar si cumplían con los criterios de inclusión mostrados en la Tabla 1. En la segunda fase, se realizó una evaluación completa de los artículos preseleccionados, analizando la metodología aplicada en cuanto a enfoques y herramientas DFSS, resultados obtenidos, desafíos encontrados y los factores que influyeron en el éxito o fracaso de la implementación. Se excluyeron aquellos que no cumplían con los requisitos establecidos en la Tabla 1 y la literatura gris.

TABLA I

CRITERIOS DE INCLUSIÓN - EXCLUSIÓN	
Inclusión	Exclusión
- Idioma inglés	- Duplicados
- Alineados con la pregunta de investigación	- No están alineados con la pregunta de investigación
- Aplicaron DFSS	- No aplicaron o no se relacionan con DFSS
- De acceso abierto	- Sin acceso al texto completo
- Entre 2014 y 2023 inclusive	- Literatura gris
- Revisados por pares	

C. Extracción de datos

Los datos relevantes fueron extraídos de los estudios seleccionados de manera independiente por dos revisores. La información recopilada incluyó: (1) año de publicación, (2) autor/es, (3) tipo de estudio, (4) país, (5) industria, y (6) breve explicación indicando el enfoque DFSS utilizado (por ejemplo, DMADV, IDOV, etc.), las herramientas empleadas (por ejemplo, QFD, FMEA, etc.), el sector de aplicación (manufacturero o de servicios), los principales resultados obtenidos de la implementación de DFSS, desafíos y barreras encontradas durante la implementación. En caso de discrepancias entre los revisores, se resolvieron mediante discusión y consenso. Así mismo, estos datos fueron organizados en una tabla para un mejor análisis.

D. Análisis de los resultados

El análisis de los datos se centró en identificar los enfoques y herramientas más utilizados utilizando el análisis de Pareto, así como los factores que influyen el éxito o fracaso de la implementación de DFSS en diferentes contextos industriales. Además, se evaluaron las tendencias de la aplicación de DFSS en diversas regiones geográficas, especialmente en América del Sur, en comparación con otras partes del mundo.

Dado que no se realizó un meta-análisis, los resultados se sintetizaron cualitativamente, proporcionando una descripción detallada de las prácticas y desafíos en la implementación de DFSS en las industrias manufactureras y de servicios.

III. RESULTADOS

A. Selección de estudios

De los 166 artículos inicialmente identificados en la búsqueda, se seleccionaron 53 estudios que cumplieron con los criterios de relevancia para esta revisión sistemática. Los estudios seleccionados fueron evaluados en función de su aplicabilidad al tema central de la metodología DFSS y su implementación en industrias manufactureras y de servicios. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de estudios. En la tabla 2 se presentan los 53 estudios revisados.

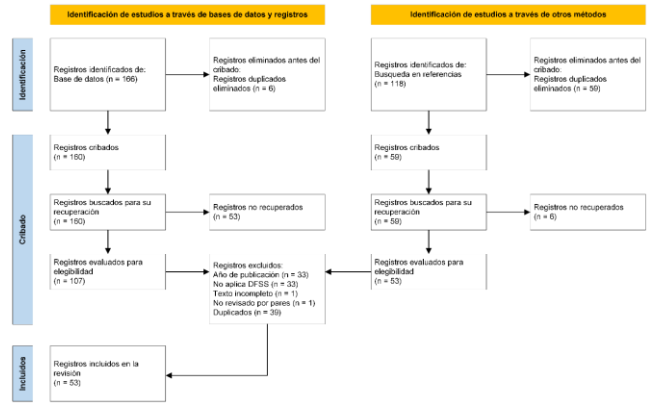


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios.

B. Distribución Geográfica de los Estudios

La distribución geográfica de los estudios revisados mostró una prevalencia significativa de investigaciones provenientes de Italia y Estados Unidos. Como se ilustra en la Figura 2, el 17% (n = 9) corresponden a estudios realizados en Italia, 15% (n = 8) a estudios realizados en Estados Unidos, 13% (n = 7) Taiwán y 11% (n = 6) India. Cabe señalar que en la base de artículos revisada no se encontraron artículos correspondientes a países latinoamericanos.

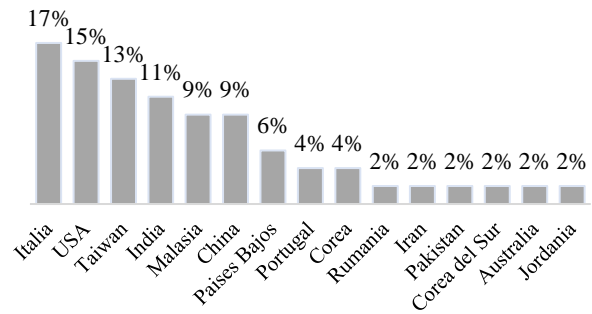


Fig. 2. Porcentaje de estudios por país.

C. Aplicación de DFSS en industrias manufactureras y de servicios

El análisis reveló que una proporción significativa de los estudios aplicaron DFSS en industrias manufactureras. De los 53 estudios seleccionados, 40 (75%) se centraron en la industria manufacturera, mientras que 13 (25%) lo hicieron en industrias de servicios, destacando la industria automotriz como la que más utiliza y aplica la metodología. Este patrón sugiere una mayor adopción de DFSS en contextos industriales donde los procesos de diseño son más tangibles y cuantificables, como en la manufactura, en comparación con los desafíos inherentes a la implementación de esta metodología en sectores de servicios, que presentan procesos más intangibles y difíciles de medir.

D. Métodos DFSS más utilizados

En relación con los enfoques metodológicos utilizados, los resultados indicaron que el enfoque DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar y Verificar) se destaca de manera significativa, empleado en el 58% (31) de los estudios analizados. En segundo lugar, se encuentra el enfoque IDDOV (Identificar, Definir, Desarrollar, Optimizar y Validar) que se implementó en un 11% (n = 6) de los casos estudiados, según se observa en la Figura 3.

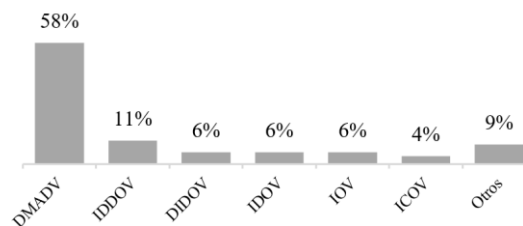


Fig. 3. Porcentaje de distribución de estudios por enfoque DFSS.

TABLA II
ESTUDIOS SELECCIONADOS PARA REVISIÓN

N°	Año	Autor	Tipo	País	Industria	Breve explicación
1	2023	Khilil et al. [10]	Revisión Sistemática	China	Industria 4.0	Mejorar la eficiencia productiva, la calidad y la competitividad global.
2	2022	Donnici et al. [11]	Caso de estudio	Italia	Innovación	Concebir nuevos productos y servicios con el fin de crear incentivos para que los fumadores disminuyan el problema de la contaminación ambiental.
3	2022	Yang et al. [12]	Caso de estudio	Taiwán	Tecnológica	En esta investigación, desarrollamos un nuevo proceso DFSS, que incluye Definir, Identificar, Medir, Diseñar, Optimizar y Verificar (DIMDOV).
4	2022	Bidikar et al. [13]	Caso de estudio	India	Electricidad	Este estudio tiene como objetivo acortar el período de desarrollo del disyuntor de caja moldeada (MCCB) DFSS y garantizar el desarrollo sostenible de productos mediante análisis de confiabilidad
5	2022	Chang et al. [14]	Caso de estudio	Taiwán	Seguros	Este estudio tiene como objetivo examinar simultáneamente las quejas de los clientes a través de DFSS que incorpora la creación de nuevos servicios de seguros para ganarse los corazones y las mentes de los clientes para la industria de seguros.
6	2021	Frizziero et al.[15]	Caso de estudio	Italia	Innovación	Esta investigación tiene como objetivo demostrar la aplicación de un enfoque de diseño sistemático en el desarrollo del "Ocane", un concepto innovador de bastón inteligente para pacientes con discapacidad visual
7	2021	Sithole et al.[16]	Artículo	Países Bajos	tecnológica	Busca describir cómo se puede aplicar el DFSS a la Fabricación Aditiva para reducir la variabilidad y qué herramientas se pueden utilizar para mejorar la calidad de las piezas resultantes
8	2020	Lee et al. [17]	Caso de estudio	Corea del sur	Construcción	Se propone el uso de un encofrado de concreto avanzado basado en material compuesto para trabajadores que utilizan un proceso de DFSS para mejorar la constructibilidad del encofrado del sistema
9	2020	Francia et al. [18]	Caso de estudio	Italia	Automotriz	Este trabajo presenta el diseño de un automóvil híbrido innovador, perteneciente al segmento E utilizando DFSS
10	2020	Frizziero et al.[19]	Caso de estudio	Italia	Transporte	Se propuso un nuevo bogie de tren siguiendo las reglas de DFSS, que reúne las principales ventajas de los modelos ofrecidos en el mercado actual por la competencia.
11	2020	Calanca et al. [20]	Caso de estudio	Italia	tecnológica	El trabajo presentado es un estudio de caso sobre la aplicación de DFSS, que involucra los conceptos de Benchmarking y análisis QFD, aplicados a diferentes dispositivos/aparatos, sin tener como objetivo la creación de un producto final específico, sino intentando esbozar un prototipo de casa domótica innovadora, donde cada dispositivo esté conectado a la red principal y pueda comunicarse con los demás.
12	2020	Mane et al. [21]	Aplicación	India	Metalurgia	El artículo utiliza la metodología DFSS para diseñar una plantilla de metal para la soldadura por puntos de soportes en el capó.
13	2020	Su et al.[22]	Aplicación	Taiwán	Electrónica	Cómo mejorar la relación de contraste de los paneles LCD con transistores de película delgada (TFT) mediante el uso de DFSS
14	2019	Peng et al. [23]	Caso de estudio	China	metalurgia	El artículo propone un modelo de fabricación colaborativa basado en DFSS para engranajes cónicos en espiral, que requiere evaluaciones tanto geométricas como físicas
15	2019	Hassan et al. [24]	Caso de estudio	Malasia	Electrodoméstica	Se centra en revisar los enfoques actuales de desarrollo de productos sostenibles, desarrollar un nuevo marco para incorporar DFSS en el desarrollo de productos sostenibles y realizar un estudio de caso sobre un producto que utilice este nuevo marco.

TABLA II

ESTUDIOS SELECCIONADOS PARA REVISIÓN

N°	Año	Autor	Tipo	País	Industria	Breve explicación
16	2019	Shojaie & Kahedi [25]	Caso de estudio	Irán	Automotriz	En esta investigación, se desarrolla un marco para evaluar la calidad del filtro de aceite EF7, utilizando el enfoque Identificar—Caracterizar—Optimizar—Validar (ICOV)
17	2019	[26]Wang T.J.; Hwang S.K.	Caso de estudio	Corea	Automotriz	En este estudio, se realizó un diseño óptimo para el sistema de combustión de un motor diesel de grupo electrógeno utilizando la metodología DFSS.
18	2019	Frizziero et al [27]	Caso de estudio	Italia	Automotriz	El objetivo principal de este trabajo es organizar, de la mejor manera posible, el diseño de un vehículo de transporte ecológico, DFSS.
19	2019	Liverani et al. [28]	Caso de estudio	Italia	electrodoméstica	El artículo trata sobre el uso del DFSS en la fabricación aditiva, aplicado a un ventilador multifuncional innovador
20	2019	Luiten W.[29]	Artículo	Países Bajos	Térmica	El artículo trata sobre la innovación digital en el diseño térmico dentro del marco de trabajo DIDOV (Definir, Identificar, Diseñar, Optimizar, Verificar), específicamente en el contexto de la gestión del ciclo de vida del producto (PLM) y los gemelos digitales.
21	2018	Cesarotti et al. [30]	Artículo	Italia	Logística	En el presente trabajo proponemos combinar dos métodos diferentes: optimización del diseño basada en metamodelos (MBDO) y DFSS.
22	2018	Yang et al. [31]	Aplicación	China	Tele comunicaciones	El artículo se centra en la aplicación de herramientas de DFSS para mejorar los servicios de telecomunicaciones.
23	2018	Wang T.J. [32]	Caso de estudio	Corea	Automotriz	A través de este estudio, se ha realizado un diseño robusto para el sistema de admisión y escape de un motor diésel de servicio pesado utilizando la metodología DFSS
24	2018	Martins et al.[33]	Artículo	Portugal	Mantenimiento	El artículo discute la aplicación de DFSS en el proceso de desarrollo de nuevos productos (DNP) en PYMES
25	2018	Luiten [34]	Aplicación	Países Bajos	tecnológica	Se utilizó DFSS con DIDOV en el diseño térmico de un dispositivo de imágenes para el mercado profesional
26	2017	Fahrul Hassan et al. [35]	Caso de estudio	Malasia	Tratamiento de agua	se realizó el estudio para diseñar un filtro de agua portátil que utiliza un sistema de filtración por membrana aplicando DFSS.
27	2017	Jiang et al.[36]	Caso de estudio	Taiwán	Tecnológica	Una aplicación de diseño robusto sigue la lógica del DMADV como realizan para analizar los datos. Enfoque para la resolución de problemas de calidad, se propone diseñar y desarrollar un mejor dispositivo de transferencia de calor con dimensiones más pequeñas, mayor difusión térmica y menor suministro de energía.
28	2017	Mahasneh & Thabet[37]	Aplicación	Jordania	Educación	Este artículo presenta el trabajo de los autores para desarrollar un marco teórico que pueda usarse como marco de ayuda a la toma de decisiones para ayudar a diseñar modelos curriculares holísticos confiables de habilidades interpersonales. Se ha identificado a DFSS como el esqueleto del marco.
29	2017	Awad & Shanshal [38]	Caso de estudio	Australia	Automotriz	Este artículo tiene como objetivo proponer un nuevo marco para la etapa inicial de diseño utilizando los beneficios de los eventos Kaizen y la metodología DFSS.
30	2016	Sethuramalingam et al. [39]	Caso de estudio	India	Automotriz	El artículo discute la implementación del método DFSS para diseñar un sistema de refrigeración eficiente en automóviles con motor trasero y radiador montado en la parte delantera.
31	2016	Zhang et al.[40]	Caso de estudio	USA	Automotriz	En este artículo, se presenta un proyecto IDD, que es un tipo de proyecto DFSS que utiliza el método IDDOV, sobre el desarrollo de un proceso de simulación robusto para predecir la velocidad del volumen del snorkel AIS.
32	2016	Suresh et al.[41]	Caso de estudio	India	Automotriz	Este estudio se centró en la implementación de DFSS en el diseño de sellos automotrices de un componente de dirección automotriz
33	2016	Carvalho et al. [42]	Caso de estudio	Portugal	logística	El artículo trata sobre la implementación de un modelo de trabajo colaborativo en el área logística utilizando la metodología DFSS.
34	2016	Mitchell & Kovach [43]	Caso de estudio	USA	logística	Se utilizó DFSS para examinar formas de mejorar el intercambio de información dentro de las operaciones de la cadena de suministro para una organización de servicios de transporte marítimo.
35	2016	Hassan et al. [44]	Caso de estudio	Malasia	tecnológica	Este artículo se presenta para investigar una computadora portátil existente hacia el desarrollo sostenible y proponer un nuevo diseño de computadora portátil utilizando DFSS.
36	2016	Dixit et al.[45]	Caso de estudio	India	Automotriz	En este artículo se desarrolla un enfoque DFSS para optimizar el diseño de un silenciador híbrido para un automóvil de pasajeros.

TABLA II

ESTUDIOS SELECCIONADOS PARA REVISIÓN

N°	Año	Autor	Tipo	País	Industria	Breve explicación
37	2016	Wang et al. [46]	Caso de estudio	Taiwán	Electrónica	En este artículo presentamos un estudio de caso realizado en base al método DFSS con TRIZ para el desarrollo de un nuevo producto denominada línea de abonado digital 2 de muy alta velocidad binaria, que comprende unidades de vivienda plurifamiliar
38	2015	Arvanitis et al. [47]	Caso de estudio	USA	Automotriz	Este artículo describe el proceso de desarrollo de un sonido de tren motriz de marca para un vehículo de alto rendimiento utilizando la metodología DFSS.
39	2015	Uduma et al. [48]	Caso de estudio	USA	Automotriz	Este artículo analiza cómo tres fases clave de la estrategia de optimización en DFSS, a saber, Identificar; Optimize y Verify (IOV), se implementaron en CAE para desarrollar un concepto optimizado SABIC con respecto a los requisitos de prueba FMVSS 226.
40	2015	Bhuyan et al. [49]	Caso de estudio	India	Automotriz	El artículo trata sobre la optimización de los parámetros de simulación en el proceso de estampado para mejorar la predicción del spring back (recuperación elástica) en la industria automotriz utilizando DFSS
41	2015	Potra & Pugna[50]	Caso de estudio	Rumania	Marketing	El artículo analiza el caso de la vida real en el que se implementó DFSS al diseñar una exitosa campaña de marketing de co-creación.
42	2015	Lucas et al. [51]	Caso de estudio	USA	Salud	Los autores detallan se utilizó el proceso de varios pasos descrito en DFSS para rediseñar completamente el proceso de admisión del proveedor
43	2015	Ferryanto L.[52]	Caso de estudio	USA	I+D	Este artículo recorre las fases DCOV de una aplicación del modelo DFSS al diseño de un helicóptero de papel óptimo y robusto.
44	2014	Wang et al. [53]	Caso de estudio	Taiwán	Salud	Este estudio de caso se centra en el Centro de Evaluación de Salud del Centro Médico Chang Gung en Taiwán y demuestra una aplicación empírica de la reducción del tiempo de espera mediante el uso del método DFSS
45	2014	Mingshung et al.[54]	Artículo	China	Producción	Se analiza en profundidad un DFSS innovador para un proceso de producción multivariado con cuatro fases principales, a saber, identificar, diseñar, optimizar y verificar (IDOV).
46	2014	Hu et al.[55]	Caso de estudio	China	Diseño	Se desarrolla un modelo de innovación utilizando DFSS como método de gestión de procesos
47	2014	Cheng et al. [56]	Caso de estudio	Taiwán	Construcción	Utilizando DFSS se combina los sedimentos de embalses de una central hidroeléctrica con desechos de mampostería y cemento para crear ladrillos curados no sintetizados ecológicos.
48	2018	Frizziero et al. [57]	Caso de estudio	Italia	electrodoméstica	El artículo utiliza DFSS para el diseño y prototipado de un ventilador multifuncional utilizando fabricación aditiva, específicamente la tecnología de fusión multijet de HP.
49	2017	Aligula et al. [58]	Caso de estudio	Malasia	Electrónica	El artículo tiene como objetivo mejorar la calidad en el desarrollo de productos en una empresa optoelectrónica en Malasia utilizando la metodología DMADV (Definir, Medir, Analizar, Diseñar, Validar) de Six Sigma
50	2020	Banerjee et al. [59]	Caso de estudio	USA	Construcción	Este artículo presenta un método novedoso para diseñar bases de datos de lecciones aprendidas utilizando el enfoque DFSS.
51	2016	Kibbe et al. [60]	Caso de estudio	USA	Petrolera	Este artículo aborda la aplicación de la metodología DFSS al diseño de un dispositivo de prueba de línea hidráulica de junta ascendente marina
52	2022	Purushothaman, & Ahmad[61]	Caso de estudio	Malasia	Adhesivos	Este artículo tiene como objetivo presentar el desarrollo de un sistema de inspección automatizado (AIS) utilizando un mecanismo de análisis basado en imágenes, llamado i-AIS. El proceso de desarrollo dei-AIS utilizó la metodología DFSS.
53	2017	Khan et al. [62]	Caso de estudio	Pakistán	Maderera	Se propone un enfoque integrado para DFSS para que los profesionales comprendan estratégicamente el VOC.

E. Herramientas DFSS más aplicadas

El análisis de las herramientas DFSS empleadas en los estudios seleccionados mostró una clara preferencia por aquellas que facilitan la integración de las necesidades del cliente en las primeras fases del diseño. La Figura 4 ilustra las herramientas más utilizadas que fueron identificadas con el análisis de Pareto, destacando Quality Function

Deployment (QFD) y House of Quality (HoQ). QFD fue utilizada en el 53% de los estudios, seguida de cerca por HoQ, que se aplicó en el 26% de los trabajos revisados. Ambas herramientas se utilizan para garantizar que las especificaciones del producto estén alineadas con las expectativas del cliente desde las fases iniciales del diseño.

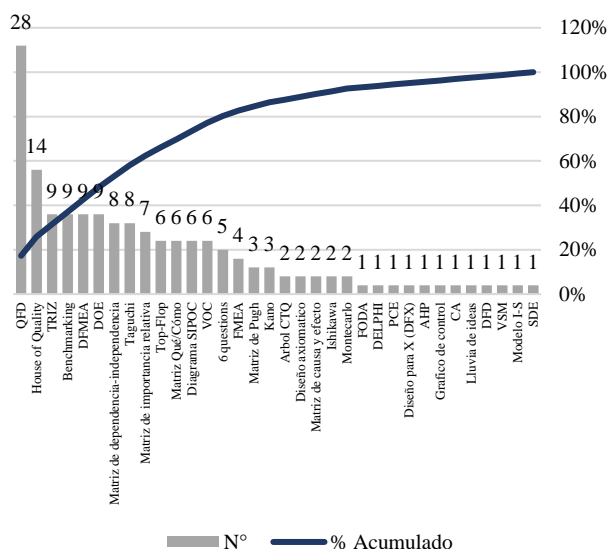


Fig. 4. Diagrama de Pareto de herramientas DFSS.

Además, se observan aplicaciones frecuentes de Matriz de dependencia-independencia, Método Taguchi y otras herramientas importantes como el Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) y Design of Experiments (DOE), que también fueron citadas en varios estudios, aunque con menor prevalencia.

F. Factores de éxito en la implementación de DFSS

Mediante el análisis de Pareto se pudieron identificar los factores de éxito señalados por los estudios en la implementación de DFSS. 10 estudios mencionaron que la capacitación de los miembros es clave para logra beneficios a partir de la aplicación de DFSS, 7 trabajos destacaron el compromiso de la alta dirección, mientras que 6 estudios indicaron que el uso de herramientas adecuadas sería fundamental para llevar a cabo la metodología DFSS con éxito. Además, se destacaron factores como equipo multifuncional y su participación en el proceso de implementación.

G. Desafíos en la implementación de DFSS

Aunque la adopción de DFSS mostró resultados positivos en términos de mejora de la calidad y eficiencia operativa, varios estudios identificaron desafíos clave en su implementación. Entre los obstáculos más frecuentes se destacan:

1. *Resistencia organizacional al cambio:* La resistencia cultural dentro de las organizaciones, especialmente en empresas con estructuras rígidas, dificultó la adopción de DFSS en 5 estudios revisados, lo que retrasó o incluso impidió su implementación efectiva.

2. *Falta de estándares de herramientas y métodos:* Las organizaciones pueden enfrentar el desafío de carecer de una guía clara, lo que conlleva a resultados inconsistentes y una mayor curva de aprendizaje para los equipos involucrados.

3. *Costos adicionales:* Los estudios señalaron que la implementación de DFSS implica una inversión considerable en tiempo, personal y recursos tecnológicos, lo que puede suponer un reto para muchas organizaciones con limitaciones presupuestarias.

H. Resultados de la implementación de DFSS

Los estudios revisados destacaron varios beneficios derivados de la aplicación de DFSS en las industrias analizadas:

- *Mejora en la calidad y reducción de defectos:* La implementación de DFSS permitió reducir significativamente los defectos durante las fases de diseño y producción, lo que resultó en una mejora notable de la calidad del producto final.
- *Eficiencia operativa mejorada:* La adopción de DFSS contribuyó a una mayor eficiencia en el proceso de diseño, reduciendo los tiempos de ciclo y optimizando el uso de recursos.
- *Mayor satisfacción del cliente:* Se observó un incremento en la satisfacción del cliente, atribuible a la alineación más precisa de los productos con los requisitos y expectativas de los usuarios finales. Esto generó un impacto positivo tanto en la lealtad del cliente como en las ventas.

IV. DISCUSIÓN

El presente estudio ha proporcionado una visión integral sobre la implementación de DFSS en diversas industrias y regiones, subrayando tanto los éxitos como los desafíos asociados con su adopción. En general, nuestros hallazgos refuerzan la efectividad de DFSS en la mejora de la calidad y la eficiencia de los procesos de diseño, aunque también resaltan las dificultades inherentes a su implementación en distintos contextos.

A. Comparación con Estudios Previos

Los resultados coinciden con los de investigaciones previas que subrayan la popularidad de los enfoques DMADV y IDOV en la aplicación de DFSS [63]. La prevalencia del enfoque DMADV en el 58% de los estudios revisados está en línea con los estudios de [64], quienes encontraron que este enfoque es especialmente eficaz en la creación de nuevos productos y procesos, particularmente en sectores manufactureros. Este hallazgo resalta la importancia de contar con una metodología estructurada para la fase de diseño, dado su impacto en la calidad final del producto.

La aplicación de herramientas como Quality Function Deployment (QFD) y House of Quality (HoQ) también confirma los resultados obtenidos por [36], quienes

indicaron que estas herramientas son esenciales para asegurar que las especificaciones del producto estén alineadas con las necesidades del cliente, lo que mejora tanto la calidad como la satisfacción del cliente. La prevalencia de estas herramientas en la literatura revisada subraya la importancia de una integración temprana de los requisitos del cliente en las etapas de diseño.

A pesar de los beneficios observados, la implementación de DFSS sigue siendo un reto en muchas organizaciones, especialmente en aquellas que no cuentan con la infraestructura adecuada o la capacitación necesaria. La falta de formación especializada y la resistencia al cambio organizacional han sido identificados por varios autores como obstáculos significativos en la implementación de metodologías de mejora continua [65], [66]. Estos problemas también fueron mencionados en nuestro estudio como barreras clave que afectan la efectividad de DFSS, particularmente en sectores de servicios, donde los procesos son menos tangibles y más difíciles de estandarizar.

En cuanto a la resistencia organizacional, estudios previos como el de [66] han señalado que las organizaciones tienden a mostrar resistencia a adoptar nuevas metodologías, especialmente en sectores con una fuerte cultura establecida. Este fenómeno se confirma en nuestros hallazgos, donde muchos de los estudios revisados destacaron las dificultades relacionadas con la integración de DFSS en culturas organizacionales rígidas y tradicionales. La falta de flexibilidad para adoptar enfoques innovadores puede dificultar la efectividad de DFSS y, en consecuencia, limitar los beneficios de la mejora continua en estas organizaciones. Otro hallazgo importante es la variabilidad en la adopción de DFSS según las regiones geográficas. En particular, los estudios provenientes de Italia, Estados Unidos e India muestran una adopción mucho más avanzada y generalizada de DFSS en comparación con otras regiones, como América Latina, donde la implementación de esta metodología sigue siendo incipiente. Este patrón refleja las diferencias en la infraestructura empresarial, el acceso a formación especializada y la madurez de las organizaciones en términos de gestión de calidad.

En línea con estudios previos, como los de [67], quienes destacaron la disparidad regional en la adopción de metodologías como Six Sigma, nuestros resultados sugieren que el contexto local y las diferencias culturales juegan un papel importante en la implementación exitosa de DFSS.

Los resultados de esta revisión tienen importantes implicaciones tanto para la investigación futura como para la práctica empresarial. En primer lugar, la literatura sobre DFSS podría beneficiarse de estudios adicionales que exploren cómo adaptar esta metodología a los sectores de servicios, donde los desafíos relacionados con la estandarización y medición de los procesos son más complejos. Esto podría incluir investigaciones sobre la integración de enfoques de diseño de calidad con

metodologías ágiles, un área aún poco explorada pero prometedora para la mejora continua en entornos de servicios.

Desde el punto de vista práctico, nuestros hallazgos sugieren que las organizaciones interesadas en implementar DFSS deben invertir en la formación continua de su personal, asegurando que los equipos de diseño cuenten con las habilidades y el conocimiento necesarios para aplicar correctamente las herramientas y enfoques de DFSS. Además, es esencial fomentar una cultura organizacional que valore la innovación y la mejora continua, superando las barreras de resistencia al cambio.

B. Limitaciones del Estudio

Cabe señalar que esta revisión presentó algunas limitaciones. En primer lugar, la selección de artículos se limitó a aquellos disponibles en bases de datos académicas en inglés y de acceso abierto, lo que podría haber excluido estudios relevantes publicados en otros idiomas y a aquellos indexados en revistas de acceso restringido. Además, aunque se incluyeron estudios de diversas regiones geográficas, la mayoría de los estudios provienen de países con economías más desarrolladas, lo que podría no reflejar adecuadamente las condiciones y retos específicos de las economías en desarrollo.

V. CONCLUSIÓN

Esta investigación permitió identificar las mejores prácticas y recomendaciones para la aplicación efectiva del DFSS en diferentes sectores y contextos empresariales. Además, proporciona una base de conocimiento sólida para que las organizaciones tomen decisiones informadas y estratégicas en el diseño de productos y procesos, lo que puede resultar en ventajas competitivas y un mejor rendimiento empresarial.

La revisión reveló diferencias significativas en la adopción de DFSS según la región. En Italia, Estados Unidos e India, los estudios mostraron una adopción más avanzada de la metodología, mientras que en América Latina la implementación sigue siendo incipiente. La escasez de estudios de caso locales y la falta de formación especializada en la región fueron identificadas como barreras clave para su expansión. Este fenómeno resalta la necesidad urgente de contextualizar DFSS en los entornos específicos de cada región, para facilitar su adopción y maximizar su impacto en la mejora de la calidad y eficiencia.

REFERENCIAS

- [1] J. De Feo y Z. Bar-El, «Creating strategic change more efficiently with a new Design for Six Sigma process», *J. Change Manag.*, vol. 3, n.º 1, pp. 60-80, mar. 2002, doi: 10.1080/714042521.
- [2] J. Antony y R. B. Coronado, «Design for Six Sigma», *Manuf. Eng.*, vol. 81, n.º 1, pp. 24-26, feb. 2002, doi: 10.1049/me:20020102.

- [3] V. S. Patil, S. R. Andhale, y I. D. Paul, «A Review of DFSS: Methodology, Implementation and Future Research», *Int. J. Innov. Eng. Technol.*, 2013.
- [4] D. Treichler, R. Carmichael, A. Kusmanoff, J. Lewis, y G. Berthiez, «Design for Six Sigma: 15 lessons learned», *Qual. Prog.*, vol. 35, n.º 1, p. 33, 2002.
- [5] A. Usman, A. Chakraborty, y T. Kay Chuan, «Comparative study of DFSS in product and service innovation», en *Asian Network for Quality Congress, 2006*, 2006, p. N/A-N/A. Accedido: 27 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://eprints.qut.edu.au/47097/>
- [6] J. Antony, M. Kumar, y C. N. Madu, «Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations», *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 22, n.º 8, pp. 860-874, ene. 2005, doi: 10.1108/02656710510617265.
- [7] K. Yang y B. El-Haik, «A Roadmap for Product Development», 2003.
- [8] M. L. Berryman, «DFSS and big payoffs», *Lean Six Sigma Rev.*, vol. 2, n.º 1, p. 23, 2002.
- [9] G. Tennant, *Design for Six Sigma: Launching New Products and Services Without Failure*. Gower Publishing, Ltd., 2002.
- [10] A. Khlil, Z. Shi, A. Umar, y B. Ma, «A New Industry 4.0 Approach for Development of Manufacturing Firms Based on DFSS», *Processes*, vol. 11, n.º 7, p. 2176, jul. 2023, doi: 10.3390/pr11072176.
- [11] G. Donnici, L. Frizziero, A. Liverani, y C. Leon-Cardenas, «Design for Six Sigma and TRIZ for Inventive Design Applied to Recycle Cigarette Butts», *Designs*, vol. 6, n.º 6, p. 122, dic. 2022, doi: 10.3390/designs6060122.
- [12] C.-C. Yang, Y.-T. Jou, M.-C. Lin, R. M. Silitonga, y R. Sukwadi, «The Development of the New Process of Design for Six Sigma (DFSS) and Its Application», *Sustainability*, vol. 14, n.º 15, p. 9294, jul. 2022, doi: 10.3390/su14159294.
- [13] S. G. Bidikar, S. B. Rane, y P. R. Potdar, «Product development using Design for Six Sigma approach: case study in switchgear industry», *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 13, n.º 1, pp. 203-230, feb. 2022, doi: 10.1007/s13198-021-01199-4.
- [14] J.-R. Chang, V. Nalluri, L.-S. Chen, y S.-H. Chen, «Winning customers' hearts and minds using DFSS in the insurance industry», *TQM J.*, nov. 2022, doi: 10.1108/TQM-05-2022-0171.
- [15] L. Frizziero, A. Liverani, G. Donnici, P. Papaleo, y C. Leon-Cardenas, «Smart Cane Developed with DFSS, QFD, and SDE for the Visually Impaired», *Inventions*, vol. 6, n.º 3, p. 58, ago. 2021, doi: 10.3390/inventions6030058.
- [16] C. Sithole, I. Gibson, y S. Hoekstra, «Evaluation of the applicability of design for six sigma to metal additive manufacturing technology», *Procedia CIRP*, vol. 100, pp. 798-803, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.05.041.
- [17] D. Lee, T. Kim, D. Lee, H. Lim, H. Cho, y K.-I. Kang, «DEVELOPMENT OF AN ADVANCED COMPOSITE SYSTEM FORM FOR CONSTRUCTABILITY IMPROVEMENT THROUGH A DESIGN FOR SIX SIGMA PROCESS», *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 26, n.º 4, pp. 364-379, abr. 2020, doi: 10.3846/jcem.2020.12188.
- [18] D. Francia, G. Donnici, G. M. Ricciardelli, y G. M. Santi, «Design for Six Sigma (DFSS) Applied to a New E-Segment Sedan», *Sustainability*, vol. 12, n.º 3, p. 787, ene. 2020, doi: 10.3390/su12030787.
- [19] L. Frizziero, Y. Haoyang, A. Liverani, y G. Donnici, «Design For Six Sigma (DFSS) applied to an innovative High-Speed Train Bogie», 2020.
- [20] D. Calanca, L. Frizziero, A. Liverani, y G. Donnici, «Design study of an innovative system for remote control of home devices using DFSS (Design for Six Sigma)».
- [21] S. Mane, S. Patel, y J. Bhuvu, «Designing a Cowl Template with DFSS Methodology», en *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation*, H. Vasudevan, V. K. N. Kottur, y A. A. Raina, Eds., en *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 571-579. doi: 10.1007/978-981-15-4485-9_58.
- [22] F.-M. Su y C.-T. Su, «TFT-LCD Contrast Ratio Improvement by Using Design for Six Sigma Disciplines», *IEEE Trans. Semicond. Manuf.*, vol. 33, n.º 1, pp. 128-139, feb. 2020, doi: 10.1109/TSM.2019.2956511.
- [23] Z. Hu, H. Ding, S. Peng, J. Tang, y Y. Tang, «A novel collaborative manufacturing model requiring both geometric and physical evaluations of spiral bevel gears by design for six sigma», *Mech. Mach. Theory*, vol. 133, pp. 625-645, mar. 2019, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2018.10.022.
- [24] M. F. Hassan, T. R. Chandra Mohan, A. E. Ismail, I. Taib, S. Mahmood, y J. M. Kafuku, «Application of Design for Six Sigma (DFSS) In Sustainable Product Design: A Case Study on an Electric Kettle», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 607, n.º 1, p. 012002, ago. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/607/1/012002.
- [25] A. A. Shojaie y E. Kahedi, «Auto parts manufacturing quality assessment using design for six sigma (DFSS), case study in ISACO company», *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 10, n.º 1, pp. 35-43, feb. 2019, doi: 10.1007/s13198-018-0745-6.
- [26] T. J. Wang y S. K. Hwang, «Combustion System Design of a Genset Diesel Engine by Using DFSS Methodology», *Int. J. Automot. Technol.*, vol. 20, n.º 3, pp. 539-547, jun. 2019, doi: 10.1007/s12239-019-0051-6.
- [27] L. Frizziero, A. Liverani, y L. Nannini, «Design for Six Sigma (DFSS) Applied to a New Eco-Motorbike», *Machines*, vol. 7, n.º 3, p. 52, jul. 2019, doi: 10.3390/machines7030052.
- [28] A. Liverani, G. Caligiana, L. Frizziero, D. Francia, G. Donnici, y K. Dhaimini, «Design for Six Sigma (DFSS) for additive manufacturing applied to an innovative multifunctional fan», *Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM*, vol. 13, n.º 1, pp. 309-330, mar. 2019, doi: 10.1007/s12008-019-00548-9.
- [29] W. Luiten, «Thermal Digital Innovation in the DfSS - DIDOV Framework», en *2019 25th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC)*, Lecco, Italy: IEEE, sep. 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/THERMINIC.2019.8923597.
- [30] V. Cesarotti, S. Gubinelli, y V. Introna, «A joint application of design for six sigma and taguchi-response surface method in supply chain process design», IT, 2018. Accedido: 11 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://art.torvegata.it/handle/2108/208762>
- [31] X. Yang, S. Gao, Z. He, y M. Zhang, «Application of Design for Six Sigma tools in telecom service improvement», *Prod. Plan. Control*, vol. 29, n.º 12, pp. 959-971, sep. 2018, doi: 10.1080/09537287.2018.1486469.
- [32] T. J. Wang, «Optimum design for intake and exhaust system of a heavy-duty diesel engine by using DFSS methodology», *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 32, n.º 7, pp. 3465-3472, jul. 2018, doi: 10.1007/s12206-018-0650-6.
- [33] S. Martins, A. Dias, y H. Navas, «The Use of DFSS Tool / Design for Six Sigma in the Innovative Pro- cess of New Product Development: a Case Study», 2018.
- [34] W. Luiten, «Thermal Design for Six Sigma of an Imaging Device with Dynamic Thermal Management», en *2018 24rd International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (THERMINIC)*, sep. 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/THERMINIC.2018.8593324.
- [35] M. Fahrul Hassan *et al.*, «Application of design for six sigma methodology on portable water filter that uses membrane filtration system: A preliminary study», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 243, p. 012048, sep. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/243/1/012048.
- [36] J.-C. Jiang, C.-H. Hsu, T.-A.-T. Nguyen, y H.-S. Dang, «Investigating the designed parameters of Dual-Layer Micro-Channel Heat Sink by design for Six Sigma (DFSS)», en *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, Sapporo, Japan: IEEE, may 2017, pp. 1351-1354. doi: 10.1109/ICASI.2017.7988155.
- [37] J. K. Mahasneh y W. Y. Thabet, «Utilising design for Six Sigma to implement soft skills in construction education».
- [38] M. Awad y Y. A. Shanshal, «Utilizing Kaizen process and DFSS methodology for new product development», *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 34, n.º 3, pp. 378-394, mar. 2017, doi: 10.1108/IJQRM-09-2014-0139.
- [39] T. Sethuramalingam, C. Parmar, y S. Tiwari, «A DFSS Approach to Design Cooling System of Small Passenger Car Having Rear Engine and Front Mounted Radiator», presentado en SAE 2016 World Congress and Exhibition, abr. 2016, pp. 2016-01-0657. doi: 10.4271/2016-01-0657.

- [40] W. Zhang, M. Likich, M. Lynch, y J. White, «A Study on Robust Air Induction Snorkel Volume Velocity Prediction Using DFSS Approach», presentado en SAE 2016 World Congress and Exhibition, abr. 2016, pp. 2016-01-0480. doi: 10.4271/2016-01-0480.
- [41] K. M. Suresh, P. Asokan, y S. Vinodh, «Application of design for Six Sigma methodology to an automotive component».
- [42] M. S. Carvalho, D. S. Magalhaes, M. L. Varela, J. O. Sa, y I. Gonçalves, «Definition of a collaborative working model to the logistics area using design for Six Sigma», *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 33, n.º 4, pp. 465-475, abr. 2016, doi: 10.1108/IJQRM-11-2014-0190.
- [43] E. M. Mitchell y J. V. Kovach, «Improving supply chain information sharing using Design for Six Sigma», *Eur. Res. Manag. Bus. Econ.*, vol. 22, n.º 3, pp. 147-154, sep. 2016, doi: 10.1016/j.iedee.2015.02.002.
- [44] M. F. Hassan *et al.*, «Investigation of existing laptop computer towards sustainable development using design for six sigma and design for disassembly», vol. 11, pp. 7683-7688, jun. 2016.
- [45] M. Dixit, V. Sundaram, y S. Kumar S, «Optimization of Muffler Acoustics Performance using DFSS Approach», presentado en SAE 2016 World Congress and Exhibition, abr. 2016, pp. 2016-01-1292. doi: 10.4271/2016-01-1292.
- [46] F.-K. Wang, C.-T. Yeh, y T.-P. Chu, «Using the design for Six Sigma approach with TRIZ for new product development», *Comput. Ind. Eng.*, vol. 98, pp. 522-530, ago. 2016, doi: 10.1016/j.cie.2016.06.014.
- [47] A. Arvanitis, J. Orzechowski, T. Tousignant, y K. Govindswamy, «Automobile Powertrain Sound Quality Development Using a Design for Six Sigma (DFSS) Approach», *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.*, vol. 8, n.º 3, pp. 1110-1119, jun. 2015, doi: 10.4271/2015-01-2336.
- [48] K. Uduma, D. Purushothaman, D. S. Pawargi, S. Bilkhu, y B. Beaudet, «CAE Based Development of an Ejection Mitigation (FMVSS 226) SABIC using Design for Six Sigma (DFSS) Approach», presentado en SAE 2015 World Congress & Exhibition, abr. 2015, pp. 2015-01-1473. doi: 10.4271/2015-01-1473.
- [49] D. R. Bhuyan, S. Netapalli, S. Dev, y S. Srinivasan, «Design For Six Sigma (DFSS) for Optimization of Stamping Simulation Parameters to Improve Springback Prediction», presentado en SAE 2015 World Congress & Exhibition, abr. 2015, pp. 2015-01-0582. doi: 10.4271/2015-01-0582.
- [50] S. Potra y A. Pugna, «DFSS in marketing: designing an innovative value co-creation campaign», *Int. J. Six Sigma Compet. Advant.*, vol. 9, n.º 1, p. 21, 2015, doi: 10.1504/IJSSCA.2015.070086.
- [51] A. G. Lucas, K. Primus, J. V. Kovach, y L. D. Fredendall, «Rethinking Behavioral Health Processes by Using Design for Six Sigma», *Psychiatr. Serv.*, vol. 66, n.º 2, pp. 112-114, feb. 2015, doi: 10.1176/appi.ps.201400384.
- [52] L. Ferryanto, «Structuring a design for Six Sigma project: paper helicopter robust and optimal design», *Int. J. Six Sigma Compet. Advant.*, vol. 9, n.º 2/3/4, p. 150, 2015, doi: 10.1504/IJSSCA.2015.074962.
- [53] H.-M. S. Wang, S.-P. Wang, y W. Lee, «A Case Study for Reducing Client Waiting Time in a Health Evaluation Center Using Design for Six Sigma», *Eng. Manag. J.*, vol. 26, n.º 2, pp. 62-73, jun. 2014, doi: 10.1080/10429247.2014.11432011.
- [54] Y. Mingshun, G. Xinqin, L. Yanjie, L. Yan, y Y. Ting, «An innovative DFSS approach for multivariate production process», 2014.
- [55] Z. Hu, J. Fan, X. Qiao, y Q. Kong, «Study on an Innovation Design Model based on Creative Design Methods and DFSS», *Int. J. Multimed. Ubiquitous Eng.*, vol. 9, n.º 6, pp. 233-242, jun. 2014, doi: 10.14257/ijmue.2014.9.6.23.
- [56] Y.-L. Cheng, H.-M. Wee, P.-S. Chen, Y.-Y. Kuo, y G.-J. Chen, «Innovative reservoir sediments reuse and design for sustainability of the hydroelectric power plants», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 36, pp. 212-219, ago. 2014, doi: 10.1016/j.rser.2014.04.065.
- [57] L. Frizziero, G. Donnici, K. Dhaimini, A. Liverani, y G. Caligiana, «Advanced Design Applied to an Original Multi-Purpose Ventilator Achievable by Additive Manufacturing», *Appl. Sci.*, vol. 8, n.º 12, Art. n.º 12, dic. 2018, doi: 10.3390/app8122635.
- [58] G. K. Aligula, C. K. Kok, y H. K. Sim, «Driving quality in product development in a Malaysian optoelectronic firm», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 8, n.º 4, pp. 482-498, oct. 2017, doi: 10.1108/IJLSS-06-2016-0026.
- [59] S. Banerjee, E. J. Jaselskis, y A. F. Alsharif, «Design For Six Sigma (DFSS) Approach for Creating CLEAR Lessons Learned Database», *Period. Polytech. Archit.*, vol. 51, n.º 1, Art. n.º 1, feb. 2020, doi: 10.3311/PPar.15442.
- [60] C. G. Kibbe, J. Lee, y K. Dong, «Designing a Test Fixture with DFSS Methodology», *Int. J. Manuf. Eng.*, vol. 2016, n.º 1, p. 3848103, 2016, doi: 10.1155/2016/3848103.
- [61] K. Purushothaman y R. Ahmad, «Integration of Six Sigma methodology of DMADV steps with QFD, DFMEA and TRIZ applications for image-based automated inspection system development: a case study», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 13, n.º 6, pp. 1239-1276, mar. 2022, doi: 10.1108/IJLSS-05-2021-0088.
- [62] M. Khan, S. Deng, A. Rashid, J. A. Khan, y F. Zulfiqar, «An integration of Kano Model, QFD and Six Sigma to present a new description of DFSS», *Eur. J. Bus. Manag.*, vol. 9, n.º 6, pp. 1-17, 2017.
- [63] M. G. Francisco, O. Canciglieri Junior, y Â. M. O. Sant'Anna, «Design for six sigma integrated product development reference model through systematic review», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 11, n.º 4, pp. 767-795, ene. 2020, doi: 10.1108/IJLSS-05-2019-0052.
- [64] S. Kumar, R. D. S. G. Campilho, y F. J. G. Silva, «Rethinking modular jigs' design regarding the optimization of machining times», *Procedia Manuf.*, vol. 38, pp. 876-883, ene. 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.169.
- [65] R. Modranský, S. Jakabová, y A. Oláh, «Innovation Management and Barriers – Creating Space for Innovation and Organizational Change», *Emerg. Sci. J.*, vol. 4, n.º 5, pp. 345-364, oct. 2020, doi: 10.28991/esj-2020-01236.
- [66] M. Alblooshi, M. Shamsuzzaman, M. B. C. Khoo, A. Rahim, y S. Haridy, «Requirements, challenges and impacts of Lean Six Sigma applications – a narrative synthesis of qualitative research», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 12, n.º 2, pp. 318-367, may 2020, doi: 10.1108/IJLSS-06-2019-0067.
- [67] E. S. Corzo Méndez y M. B. Teccsi León, «Aplicación del Lean Six Sigma para la optimización del proceso de distribución de la corporación Lindley S.A. en el Mercado Productores, Lima 2018 – 2019», 2019, Accedido: 11 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/4026>