

Control de gestión de la calidad en una empresa del sector de servicio de alimentos con curvas RPC e Indicador Geométrico Multivariable

Quality management control in a company in the food service sector with RPC curves and Multivariate Geometric Indicator

Tomás José Fontalvo Herrera 

Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia

Katy Bedoya Puerta 

Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia

Resumen

Objetivo: esta investigación de naturaleza básica tuvo como objetivo valorar el desempeño de un sistema de servicios de alimentos, utilizando curvas de operación de rendimiento del proceso (RPC) e indicadores de capacidad multivariante. **Método:** la investigación se desarrolló a partir de un enfoque cuantitativo, en el que se evaluó el sistema utilizando curvas de operación de RPC e indicadores geométricos multivariantes. Para ello, se midió el rendimiento del proceso con el objetivo de visualizar las capacidades y limitaciones del sistema en estudio. **Resultados:** los resultados evidenciaron la pertinencia de las herramientas aplicadas para evaluar el servicio, al identificar oportunidades de mejora como la reducción de defectos y el análisis de la capacidad del proceso. **Discusiones:** se destacó la utilidad de las curvas de rendimiento y los indicadores de capacidad multivariante para optimizar la gestión en servicios de alimentos. Estas herramientas permiten establecer estrategias eficaces que mejoran la eficiencia y la calidad operativa. **Conclusiones:** se verificó la relevancia de las métricas Seis Sigma y de los sistemas de control estadístico para evaluar el desempeño del proceso en el contexto de los servicios de alimentación.

Palabras clave: calidad, curvas RPC, indicadores geométricos, rendimiento, Seis Sigma.

Clasificación JEL: L15, M11, C38

Abstract

Objective: this basic research aimed to evaluate the performance of a food service system using Process Performance Operation Curves (PPOC) and multivariate capability indicators. **Method:** the research was developed using a quantitative approach, in which the system was evaluated using RPC operating curves and multivariate geometric indicators. For this purpose, the process performance was measured in order to clearly visualize the capabilities and limitations of the system under study. **Results:** the results evidenced the relevance of the tools applied to evaluate the service, by identifying improvement opportunities such as defect reduction and process capability analysis. **Discussions:** the usefulness of yield curves and multivariate capability indicators for optimizing food service management was highlighted. These tools allow the establishment of effective strategies that improve efficiency and operational quality. **Conclusions:** the relevance of Six Sigma metrics and statistical control systems to evaluate process performance in the foodservice context was verified.

Keywords: quality, RPC curves, geometric indicators, performance, Six Sigma.

JEL Classification: L15, M11, C38

Autor de correspondencia

tfontalvoh@unicartagena.edu.co

Recibido: 01/11/2024

Aceptado: 03/06/2025

Publicado: 30/06/2025



Copyright © 2025
Desarrollo Gerencial

Cómo citar este artículo (APA):

Fontalvo Herrera, T., & Bedoya Puerta, K. (2025). Control de gestión de la calidad en una empresa del sector de servicio de alimentos con curvas RPC e Indicador Geométrico Multivariable. *Desarrollo Gerencial*, 17(1), 1-29. DOI:10.17081/dege.17.1.7725

Introducción

La competitividad de una organización depende, en gran medida, de la solidez y adecuada articulación de sus procesos. Estos deben estar correctamente alineados para garantizar un funcionamiento eficiente de las operaciones. En el contexto organizacional, se distinguen tres tipos de procesos: estratégicos, tácticos y operativos, cada uno con un propósito específico, el cual varía según la naturaleza y los objetivos institucionales. Ahora bien, en el sector servicios, la coexistencia de componentes tangibles e intangibles incrementa la complejidad en los procesos de planificación y control, lo que representa un desafío significativo para satisfacer las necesidades de los clientes (Zapata et al., 2022).

En este marco, la satisfacción del cliente constituye un factor determinante, dado que la percepción de calidad condiciona la confianza y fidelización del usuario. Por tanto, ofrecer servicios con altos estándares de calidad no solo permite atraer nuevos clientes, sino también conservar los existentes. Alcanzar este propósito requiere, además, del uso de herramientas analíticas que faciliten la evaluación rigurosa e integral del desempeño (Salazar, 2022; Salazar, 2023).

Actualmente, la prestación de servicios de calidad representa un elemento clave para la sostenibilidad de las organizaciones del sector terciario, dado que la calidad determina su permanencia y competitividad en el mercado (Franco y Perrián, 2020; Hariyani y Mishra, 2022). En consecuencia, resulta fundamental emplear herramientas que permitan medir, controlar y mejorar la calidad, lo cual incide directamente en el posicionamiento estratégico de las organizaciones y en las preferencias de los usuarios (Dolgui et al., 2022).

En efecto, durante los últimos años se ha evidenciado un incremento en la aplicación de instrumentos estadísticos orientados a la gestión de la calidad, tales como las curvas de operación, los indicadores de rendimiento promedio por corrida (Y) y las métricas geométricas de capacidad multivariada, propios del enfoque Seis Sigma. Estas herramientas no solo permiten diagnosticar el estado actual de los procesos, sino que también ofrecen bases sólidas para la toma de decisiones informadas.

En ese sentido, las métricas Seis Sigma han demostrado ser pertinentes para analizar el desempeño de los servicios, tanto en evaluaciones puntuales como en análisis longitudinales. Particularmente, los indicadores geométricos de capacidad resultan relevantes para optimizar el flujo de trabajo, mejorar la eficiencia operativa y maximizar la productividad en entornos como los servicios de alimentación. Asimismo, permiten una evaluación integral del comportamiento de los procesos, facilitando el análisis de su desempeño desde una perspectiva holística (Maturana y Fontalvo, 2023). Estos indicadores, por tanto, aportan información sustantiva para valorar las distintas dimensiones de la calidad del servicio y tomar decisiones orientadas a su mejora continua.

Con base en lo anterior, la presente investigación tiene como propósito desarrollar un método estructurado que, apoyado en el uso intensivo del control estadístico y en las métricas Seis Sigma, permita valorar y controlar un sistema de prestación de servicios. Para ello, se utilizaron las curvas de operación y los indicadores de capacidad multivariada, con el fin de establecer criterios cuantificables que orienten la mejora continua del desempeño del sistema, considerando las variaciones inherentes a las condiciones operativas.

En consonancia con este enfoque, la motivación principal de esta investigación se centra en diseñar un sistema integral de evaluación estadística que, mediante el análisis de la curva de operación asociada al rendimiento promedio por corrida (Y) y al nivel de desempeño (Z), permita identificar los puntos críticos del proceso. Adicionalmente, se plantea implementar una valoración holística a través de un indicador de capacidad geométrico multivariado, lo cual posibilitará el control global y simultáneo de múltiples procesos involucrados en el sistema de prestación de servicios de alimentación objeto de estudio.

A partir de esta motivación surgen los siguientes interrogantes que se busca resolver a lo largo de la presente investigación: ¿cómo medir el desempeño en términos de calidad en un sistema de prestación de servicios de alimentos?, ¿cómo evaluar los procesos del servicio de alimentos por medio de las métricas Seis Sigma?, ¿cómo elaborar las curvas de operación de rendimiento promedio de corrida (RPC) para analizar el número de servicios a prestar y detectar si el nivel sigma cambió? ¿cómo medir el desempeño integral de los procesos con el indicador de calidad geométrico de capacidad multivariante del servicio de alimentos?

Considerando las preguntas problema, se establecieron los siguientes objetivos específicos: i) Evaluar los procesos del servicio de alimentos por medio de las métricas Seis Sigma; ii) Elaborar las curvas de rendimiento promedio de corrida (RPC) para analizar el número de servicios a prestar, detectar si el nivel sigma cambió y tomar decisiones de mejora; iii) Medir el desempeño integral de los procesos con el indicador de calidad geométrico de capacidad multivariante del servicio de alimentos, con el fin de obtener una visión global del desempeño del sistema.

En esta línea, el presente estudio se centra en el análisis y aplicación de dichas herramientas en un contexto específico del sector, lo que permitió generar una evaluación detallada del desempeño en la prestación de servicios de alimentos. No obstante, se reconocen ciertas limitaciones: el enfoque en un sector particular que podría no ser extrapolable a otros servicios; el rigor estadístico, que podría no captar completamente la variabilidad de factores subjetivos; y la influencia de elementos externos no controlados, como los cambios en la demanda o las regulaciones del sector. Estas limitaciones pueden influir en la generalización de los hallazgos.

Aun así, esta investigación aporta valor al campo de la administración al ofrecer un enfoque estructurado para la evaluación del desempeño en la prestación de servicios, en condiciones cambiantes de la variabilidad Z, es decir, del nivel de desempeño de la calidad. Se espera que los resultados obtenidos sirvan como referencia para investigadores, profesionales y responsables de la toma de decisiones orientadas al mejoramiento de la calidad, fomentando la implementación de prácticas más eficientes y sostenibles en la industria de servicios de alimentos.

Fundamentación teórica

El control de gestión de la calidad ha sido ampliamente abordado en distintos sectores productivos, demostrando su incidencia en la optimización de procesos y en el incremento de la satisfacción del cliente. En esta línea, la presente fundamentación teórica desarrolla los conceptos esenciales y examina la literatura especializada que respalda el uso de métricas Seis Sigma y herramientas estadísticas aplicadas a la evaluación del desempeño en servicios de alimentación. Esta sección, por tanto, permite contextualizar la pertinencia del enfoque metodológico adoptado y establecer un marco comparativo con estudios previos realizados en el mismo ámbito de análisis.

Control de gestión para la calidad

En los sistemas organizacionales modernos, el control de gestión para la calidad se configura como una herramienta estratégica orientada al aseguramiento del desempeño y la sostenibilidad institucional, integrando procesos de planificación, evaluación estadística y mejora continua bajo enfoques metodológicos basados en datos (Aboelmaged, 2011; Chen et al., 2003; Costa et al., 2019; Fontalvo et al., 2024a; Morales-Morales et al., 2023a). Este tipo de control no puede limitarse a una función operativa ni a la simple verificación de resultados, ya que implica una articulación estructural entre los objetivos estratégicos, los indicadores de desempeño y las acciones de mejoramiento. Así, se reconoce que los sistemas de calidad bien diseñados incorporan tanto herramientas estadísticas de medición como mecanismos de retroalimentación con enfoque sistémico, permitiendo decisiones basadas en evidencia que incrementan la eficiencia y reducen la variabilidad operativa (Delahoz-Domínguez et al., 2020; Goel et al., 2021; Djatmiko y Handayati, 2023).

A través del uso de métricas Seis Sigma, indicadores de capacidad multivariada e índices de rendimiento geométrico, los sistemas de control permiten identificar brechas de calidad que no siempre resultan evidentes mediante técnicas tradicionales, lo que posibilita un abordaje más integral y orientado a la anticipación del error (Fontalvo et al., 2024b; Zacharia y Ravichandran, 2022; Herrera et al., 2022; Madhani,

2022; Saporito et al., 2023). En este sentido, estudios recientes han demostrado que la aplicación de estos métodos en entornos con alta variabilidad operativa, como los sistemas de alimentación, las cadenas logísticas y los servicios públicos, permite cuantificar con mayor precisión el nivel sigma del proceso y establecer puntos críticos de control (Chen et al., 2003; Aboelmaged, 2011; Fontalvo et al., 2025). La evaluación basada en curvas de rendimiento promedio de corrida (RPC) y diagramas T² multivariados facilita la identificación de variaciones estructurales y aleatorias, lo que permite que las organizaciones intervengan en los procesos antes de que ocurran desviaciones críticas (Zambrano et al., 2020; Maturana y Fontalvo, 2023).

Desde una perspectiva funcional, el control de gestión para la calidad también debe incorporar la evaluación de variables blandas como la percepción de servicio, la experiencia del cliente y la confiabilidad organizacional, aspectos que en el sector servicios son determinantes para la fidelización y sostenibilidad del modelo de negocio (Montero y Mora, 2020; Morales-Morales et al., 2023b; Franco y Perrián, 2020; Salazar, 2023; Hariyani y Mishra, 2022). Estas dimensiones, a menudo difíciles de cuantificar, se vuelven analíticamente más accesibles cuando se integran en esquemas multivariados que permiten construir modelos de percepción-compromiso-desempeño. Así, el control de calidad no se limita a resultados internos, sino que incluye valoraciones externas que fortalecen el ciclo de mejora y promueven la innovación de procesos orientados al cliente (Fontalvo-Herrera et al., 2020a; Silva et al., 2023; Morales-Morales et al., 2023a; Madhani, 2022). La sistematización de estos aspectos genera ventajas competitivas sostenibles, especialmente en sectores donde la calidad percibida es tan importante como la calidad técnica (Delahoz-Domínguez et al., 2020; Fontalvo et al., 2022).

A medida que las organizaciones enfrentan contextos operativos cada vez más volátiles, el uso de sistemas inteligentes de control estadístico adquiere una relevancia creciente, siendo indispensable la integración de capacidades analíticas predictivas en los procesos de gestión de calidad (Dolgui et al., 2022; Kumar et al., 2021; Silva et al., 2023; Fontalvo et al., 2024c; Banquez y Fontalvo, 2023). En este marco, la combinación entre Seis Sigma, Lean Management e Industria 4.0, ha demostrado generar modelos adaptativos que integran análisis de desempeño, simulación de escenarios y retroalimentación automatizada (Saporito et al., 2023; Fontalvo et al., 2024d; Djatmiko y Handayati, 2023; Goel et al., 2021; Herrera et al., 2022). Estas prácticas han evolucionado hacia sistemas ciberfísicos que aprenden de los datos, predicen desviaciones y recomiendan acciones correctivas en tiempo real, lo que transforma radicalmente la forma en que se gestiona la calidad en entornos productivos complejos.

La literatura científica respalda la eficacia de los indicadores multivariados en entornos donde convergen múltiples procesos interdependientes, como ocurre en las líneas paralelas de producción o los sistemas de servicio con alta interacción cliente-sistema (Fontalvo et al., 2024e; Costa et al., 2019; Zacharia y Ravichandran, 2022; Maturana y Fontalvo, 2023; Aboelmaged, 2011). Al respecto, el uso de curvas de operación específicas para sistemas paralelos permite calcular el número mínimo de observaciones necesarias para detectar un cambio en el desempeño, lo que optimiza el uso de recursos y mejora el tiempo de respuesta ante contingencias (Fontalvo et al., 2025; Fontalvo et al., 2024f; Goel et al., 2021; Saporito et al., 2023; Madhani, 2022). Además, la implementación de controles basados en el análisis de componentes principales (PCA) permite visualizar y modelar la relación entre múltiples variables, mejorando la comprensión de los fenómenos complejos que afectan la calidad del servicio (Chen et al., 2003; Zacharia y Ravichandran, 2022).

En ese sentido, la gestión de la calidad requiere no solo técnicas estadísticas avanzadas, sino además, una visión integral que considere factores técnicos, humanos y organizacionales, articulados mediante sistemas de información confiables y herramientas de análisis que permitan la mejora continua en contextos de alta complejidad (Kumar et al., 2021; Silva et al., 2023; Banquez y Fontalvo, 2023; Morales-Morales et al., 2023a; Fontalvo et al., 2025).

Curvas de Rendimiento Promedio de Corrida (RPC)

Las curvas de rendimiento promedio por corrida (RPC), también denominadas curvas de operación de métricas Seis Sigma, constituyen una herramienta estadística avanzada que permite analizar el comportamiento de un sistema de prestación de servicios bajo condiciones de variabilidad. Estas curvas modelan el número mínimo de servicios que deben ejecutarse para detectar un cambio significativo en el nivel sigma del proceso, lo cual es fundamental para determinar la capacidad de respuesta del sistema ante desviaciones en la calidad operativa (Fontalvo et al., 2024a; Maturana y Fontalvo, 2023; Zacharia y Ravichandran, 2022; Goel et al., 2021; Saporito et al., 2023). La identificación de un cambio desde un nivel Z_1 hacia un nivel Z_2 permite establecer criterios estadísticos para activar acciones correctivas, evitando así que los defectos se acumulen y afecten la satisfacción del cliente o la sostenibilidad del proceso.

Desde la perspectiva del control estadístico, estas curvas de operación permiten visualizar el desempeño del sistema tanto en condiciones ideales como en escenarios reales, en los que la variabilidad es una característica inherente. Su utilidad radica en que ofrecen un marco de referencia para estandarizar el rendimiento Y , así como, para calcular los defectos por millón de oportunidades (DPMO), facilitando la

evaluación integral de los procesos bajo una lógica de desempeño multivariado (Chen et al., 2003; Aboelmaged, 2011; Costa et al., 2019; Djatmiko y Handayati, 2023; Fontalvo et al., 2025). Según Dolgui et al. (2022), el análisis de estas métricas en paralelo proporciona un modelo robusto para simular el comportamiento del sistema ante fluctuaciones internas o externas, permitiendo anticipar cuellos de botella y priorizar recursos críticos.

Diversas investigaciones han evidenciado que, al representar gráficamente la relación entre los niveles sigma, el rendimiento promedio y el DPMO, se obtienen curvas que reflejan la sensibilidad del proceso ante cambios estructurales, lo cual es esencial para una gestión basada en riesgos (Fontalvo et al., 2024; Franco y Perrián, 2020; Silva et al., 2023; Madhani, 2022; Morales-Morales et al., 2023b). De hecho, estas curvas han sido aplicadas no solo en el sector industrial, sino también en áreas de servicios como salud, turismo, alimentación y logística, donde la identificación temprana de variaciones permite ajustar los procesos de manera oportuna (Fontalvo-Herrera et al., 2020b; Herrera et al., 2022; Kumar et al., 2021; Montero y Mora, 2020; Banquez y Fontalvo, 2023). Este enfoque estadístico multivariado contribuye a diferenciar procesos con alta sensibilidad de aquellos con baja capacidad de detección, lo cual es esencial para priorizar intervenciones de mejora continua.

Adicionalmente, la articulación entre estas curvas y sistemas inteligentes de monitoreo mejora la capacidad de respuesta operativa, ya que permite establecer umbrales dinámicos y mecanismos de retroalimentación automática. Según Silva et al. (2023), la implementación de este tipo de modelamiento en entornos ciberfísicos mejora significativamente la precisión del control y reduce los costos asociados a la no calidad. En consecuencia, las curvas RPC de métricas Seis Sigma no solo sirven como instrumento de diagnóstico, sino también como herramienta estratégica para la gestión del conocimiento estadístico en organizaciones que operan bajo estándares exigentes de calidad.

De igual forma el concepto de Rendimiento Promedio de Corrida RPC, es una curva de operación de las métricas Seis Sigma, y viene dado por Z Vs $RPC(n)$, donde matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$RPC = \frac{1}{1-Y_i} = \text{total de servicios que hay que generar para lograr un rendimiento } Y_i$ Donde Y_i es el rendimiento de las métricas Seis Sigma, valorado para un nivel Z_i .

$Z_i \text{ mayor} = Y_i \text{ mayor} = RPC_i \text{ mayor} = n_i \text{ mayor} = \text{servicios a prestar para alcanzar un rendimiento } Y_i \text{ mayor}$

$Z_{i\text{menor}} = Y_{i\text{menor}} = RPC_{i\text{menor}} = n_{i\text{menor}} =$ servicios a prestar para alcanzar un rendimiento Y_i menor

Z = Nivel Sigma de las métricas Seis Sigma

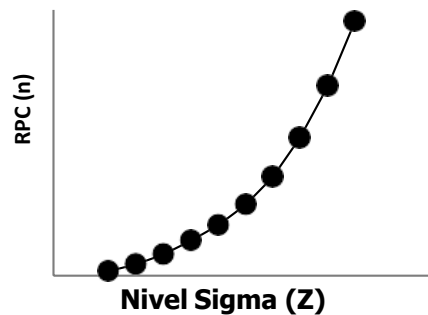
Y = rendimiento del proceso de acuerdo a las métricas Seis Sigma

n = servicios a prestar para detectar un cambio en Y

RPC (n) = Servicios para detectar que Z cambio de Z_1 a Z_2

Al realizar el análisis de sensibilidad de Z cuando se encuentra entre 3 y el mayor nivel Sigma del proceso o sistema Z Vs RPC(n), surge el concepto de curva de Rendimiento Promedio de Corrida RPC(n) como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Curva de operación de (RPC) para cada nivel Sigma (Z)



Lo que permite determinar el número de servicios a prestar para detectar que Z cambió de Z_1 a Z_2 . Para el mismo es importante tener en cuenta los siguientes criterios:

$Y_i =$ rendimiento del proceso para el estado i ; % del proceso bueno

$1 - Y_i =$ % de servicio defectuoso

$$RPC = \frac{1}{1 - Y_i} = \text{totalidad de servicios que hay que prestar para alcanzar un } Z$$

Los gráficos de control, mediante el uso de métricas Seis Sigma, son una herramienta clave para detectar rápidamente las causas que afectan la variación de un proceso y por lo anterior permiten monitorear, administrar y mejorar los procesos o el objeto de estudio intervenido (Zacharia y Ravichandran, 2022; Djabatmiko y Handayati, 2023).

Indicador geométrico de capacidad multivariante

El indicador de calidad geométrico multivariable es una herramienta estadística avanzada que permite valorar de forma integral el desempeño de procesos que presentan múltiples características simultáneamente, facilitando la formulación de juicios multivariados de calidad y desempeño. A diferencia de los índices univariados, este tipo de indicador incorpora la covariación entre variables, lo cual mejora la precisión del análisis y permite detectar interacciones que afectan el comportamiento global del proceso (Chen et al., 2003; Aboelmaged, 2011; Madhani, 2022; Zacharia y Ravichandran, 2022; Fontalvo et al., 2022).

En diversos estudios empíricos orientados al análisis de servicios, el uso de índices de capacidad multivariada ha permitido caracterizar de forma rigurosa procesos en contextos operativos heterogéneos, identificando patrones de desempeño y sensibilidad ante variaciones estructurales (Fontalvo et al., 2020a; Maturana y Fontalvo, 2023; Goel et al., 2021; Costa et al., 2019; Morales-Morales et al., 2023a). Esta herramienta aporta criterios más exigentes para el monitoreo de la calidad, permitiendo una detección más temprana de desviaciones significativas, lo cual favorece la toma de decisiones correctivas más oportunas, mejora la adaptabilidad organizacional y aumenta la capacidad de respuesta ante escenarios cambiantes (Banquez y Fontalvo, 2023; Fontalvo y Banquez, 2024a).

En ese mismo orden, el análisis de la capacidad multivariada forma parte de las técnicas avanzadas de control estadístico de procesos, ampliamente utilizadas en sistemas de manufactura, servicios públicos, alimentación y salud, debido a su capacidad para integrar múltiples dimensiones de evaluación en un solo marco analítico (Herrera et al., 2022; Kumar et al., 2021; Silva et al., 2023; Djatmiko y Handayati, 2023; Delahoz-Domínguez et al., 2020). Esta técnica, al basarse en la observación histórica de datos y su comportamiento estadístico conjunto, permite analizar de manera más rigurosa el cumplimiento de las especificaciones de calidad asociadas a los requisitos del cliente.

Fontalvo et al. (2020) señalan que su aplicación en escenarios de prestación de servicios genera ventajas significativas al momento de identificar no conformidades que, en una evaluación univariada, podrían pasar desapercibidas. Por otra parte, el uso de este indicador multivariable permite establecer límites de acción y criterios de desempeño que consideran la correlación entre las variables, mejorando así la representatividad del control estadístico en tiempo real (Zambrano et al., 2020; Saporito et al., 2023; Franco y Perriñán, 2020; Hariyani y Mishra, 2022; Salazar, 2023).

En esta línea, el modelo propuesto por Chen et al. (2003), citado en el estudio desarrollado por Fontalvo et al. (2024b), establece el seguimiento multivariado de las características críticas del proceso bajo los supuestos de normalidad e independencia entre variables, y plantea el uso del índice de capacidad multivariado CMT como parámetro robusto para valorar el ajuste del proceso a los requerimientos técnicos y del cliente. Esta formulación, al incluir la matriz de varianza-covarianza y la comparación simultánea con los límites de especificación, permite representar de manera gráfica y numérica el estado de desempeño del sistema frente a múltiples especificaciones de calidad.

A partir de este enfoque, se ha logrado una aplicación efectiva en sectores como bioprocesos industriales (Saporito et al., 2023), servicios de fumigación (Herrera et al., 2022), producción alimentaria (Dolgui et al., 2022) y procesos de atención al cliente en entornos digitales (Madhani, 2022), con resultados favorables para la mejora continua de procesos bajo enfoque estadístico. La formulación propuesta es la siguiente:

$$CM_k^T = \frac{1}{3} \phi^{-1} \left\{ \frac{[\prod_{j=1}^v P_j]^{\frac{1}{k}} + 1}{2} \right\} = \text{promedio geométrico de las unidades conformes presentes en las dimensiones}$$

P_j es $\sum_{i=1}^k \frac{p_i^k}{k}$ $j=1, 2, \dots, v = P_j$ equivale al rendimiento promedio del proceso j th y P_k , es decir: $P_k = (1 - \frac{N_i}{U_i \times O_i})$ con $i = 1, 2, \dots, k$ asumiendo un proceso óptimo en su desempeño, cuando los valores presentan valores superiores a la unidad.

Lo anterior permite valorar v características y en función k periodos valorar el desempeño del indicador de capacidad multivariado.

Método

Esta investigación, de naturaleza básica, se abordó desde un enfoque cuantitativo, por lo cual se estructuró sobre fundamentos matemáticos y estadísticos, integrando principios del control estadístico de calidad para proponer un sistema articulado con herramientas propias de las métricas Seis Sigma. Este abordaje implicó la modelación matemática del sistema, apoyada en técnicas de control estadístico, en el uso de curvas de operación y en la caracterización del sistema de procesos asociados a la prestación del servicio de alimentación. Las variables que sustentan el modelo estadístico se encuentran consignadas en la Tabla 1, a partir de las cuales se estandariza el proceso de medición de la calidad, garantizando consistencia en la evaluación del desempeño del sistema.

Con base en las variables presentadas en la Tabla 1 y bajo el enfoque de una investigación de carácter básico, se calcularon los defectos por millón de oportunidades (DPMO), el nivel sigma de desempeño (Z) y el rendimiento (Y) del sistema de control estadístico de la calidad, conforme con las condiciones operativas iniciales del sistema.

Tabla 1. *Métricas Utilizadas*

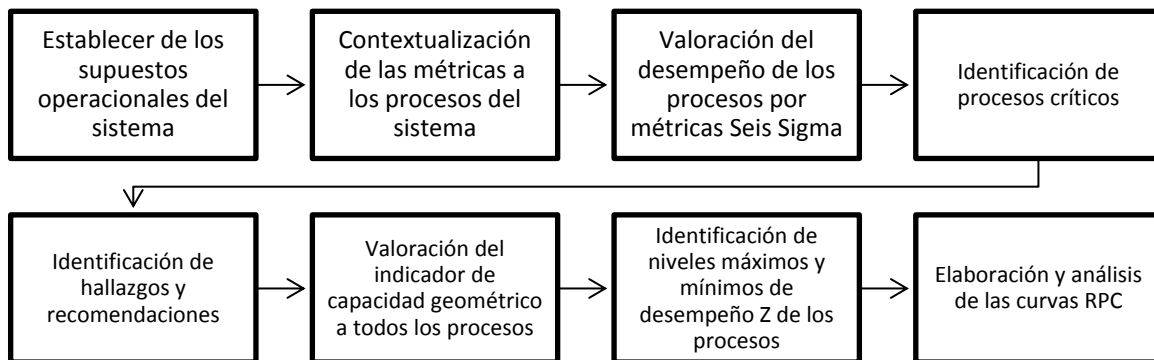
Métricas	Definición
DPMO	Cantidad de defectos por millón de oportunidades
U	Cantidad de unidades críticas revisadas
O	Oportunidad de error por unidad
Z	Nivel de desempeño de calidad de los sistemas y de los procesos
N	Número de no conformidades o fallas presentes en el proceso
Y	Rendimiento del proceso
RPC	Totalidad de defectos generados para un rendimiento γ_i
SMT	Valoración del desempeño global de las dimensiones de calidad de un servicio

Posteriormente, se desarrolló un análisis de sensibilidad que consistió en la modificación del nivel de calidad Z entre 3 (valor mínimo aceptado) y 6 (valor máximo), con el fin de calcular las curvas de operación del rendimiento promedio por corrida (RPC) y analizar el comportamiento del sistema en escenarios operativos variables.

A partir de los valores promedio de rendimiento (Y) obtenidos durante el análisis de sensibilidad, se procedió a calcular el indicador geométrico de capacidad multivariable, aplicable al conjunto de procesos involucrados en la prestación del servicio de alimentación. Este cálculo permitió obtener una valoración de desempeño integral bajo un enfoque multiproceso, fortaleciendo así la evaluación global del sistema de control estadístico de la calidad. Con base en la aplicación del método evaluativo y las métricas derivadas, se logró analizar y comparar el desempeño individual y agregado de todos los procesos que componen el sistema, lo cual facilitó la formulación de conclusiones respecto al nivel de calidad del servicio y permitió emitir recomendaciones orientadas a su mejora continua. Para el establecimiento del sistema de control estadístico, se partió de una construcción metodológica que inició con el balance de defectos, con el propósito de determinar los DPMO y, a partir de estos, calcular los respectivos niveles sigma (Z) como base para el análisis de desempeño.

Seguidamente, para alcanzar los resultados de este estudio se estableció el siguiente método con las actividades que se señalan a continuación i) establecer los supuestos operacionales del sistema objeto de estudio, ii) contextualización de las métricas al sistema estudiado, iii) valoración del desempeño de los procesos por métricas Seis Sigma iv) identificación de procesos críticos, v) elaboración y análisis de las curvas de RPC, VI) identificación de los niveles máximos y mínimos del desempeño de los procesos Z, vii) valoración del indicador de capacidad geométrico multidimensional a todos los procesos, viii) identificación de hallazgos y recomendaciones. En la Figura 2 se precisa las actividades asociadas al método propuesto.

Figura 2. Diagrama de Flujo: Método de evaluación y análisis de la calidad del servicio



Una vez modelado el sistema de prestación de servicios de alimentos, se procedió a contextualizar la aplicación de las métricas descritas en la Tabla 1. Dicho sistema está compuesto por siete procesos: recepción de pedidos, preparación de alimentos, elaboración de acompañantes, preparación de hamburguesas, otros servicios, entrega del combo de alimentos y entrega del combo de hamburguesa. Todos los procesos comparten el mismo nivel sigma global (Z), y con base en estos valores se calculó la cantidad de defectos por millón de oportunidades (DPMO) correspondiente a cada proceso. Posteriormente, se determinó el número de servicios no conformes (n) en los procesos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, respectivamente.

Seguidamente, mediante un análisis de sensibilidad basado en el nivel sigma (Z) del sistema y las condiciones de operación específicas, se estableció su capacidad global a través de la construcción de curvas de operación. Para ello, se partió de una cantidad inicial de pedidos en el sistema (U). No obstante, se identificaron diferencias significativas en la distribución de los servicios entrantes a cada uno de los procesos del sistema de prestación de alimentos, lo cual condiciona los flujos internos y su rendimiento asociado.

En el modelo evaluado, la cantidad inicial de pedidos que ingresa al proceso 1 (recepción de pedidos) corresponde a 24.000 unidades. Estos pedidos se distribuyen hacia los procesos 2, 3, 4 y 5 (preparación de alimentos, elaboración de acompañantes, preparación de hamburguesas y otros servicios), con una asignación de 5.845 pedidos a cada uno. En el proceso 6 (entrega del combo de alimentos), se consolidan las salidas conjuntas de los procesos de preparación de alimentos y de acompañantes, resultando en un total de 11.276 pedidos. Finalmente, el proceso 7 (entrega del combo de hamburguesa) integra las salidas de los procesos de acompañantes y hamburguesas, con un volumen idéntico de 11.276 pedidos.

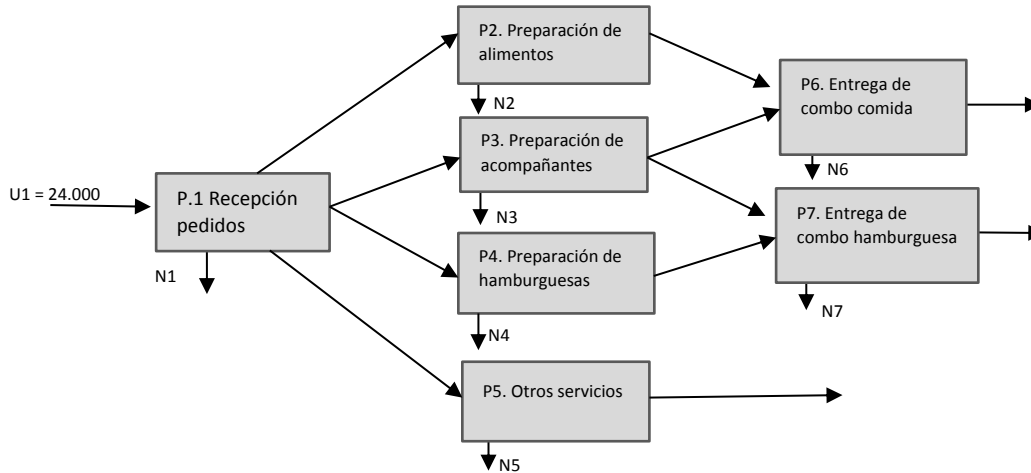
A continuación, se presenta la representación gráfica del modelo de prestación de servicios de alimentos, junto con las ecuaciones matemáticas correspondientes, como se muestra en la Figura 3. Seguidamente, se describen los criterios establecidos para la estimación del número de servicios no conformes en cada uno de los procesos:

$$n_1 = 3n_2 = 3n_3 = 3n_4 = 4n_5$$

$$n_1 = 6n_6 = 6n_7$$

$$Zg = 3,0$$

Figura 3. Diagrama del sistema de prestación de servicios de alimentos



Debido a las características propias del modelo usado para la investigación, es necesario calcular la cantidad total de servicios defectuosos que el sistema arroja (n_g), aplicando la siguiente formula:

$$n_g = \frac{DPMO * U * O}{1.000.000} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde DPMO se calcula en función del nivel Sigma global (Zg), de la siguiente forma:

$$DPMOg = e^{\frac{29,3 - (Zg - 0,8406)^2}{2,221}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$DPMO = e^{\left[\frac{29,3 - (3,0 - 0,8406)^2}{2,221} \right]} = 65693 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Luego de esto se procede a buscar el valor de n_g , despejando la siguiente formula:

$$DPMOg = \frac{n}{u * o} * 1.000.000 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Así:

$$n = \frac{u * o(DPMO)}{1.000.000} \quad \text{Ecuación (5)}$$

Usamos la cantidad inicial dada en el proceso para hallar Ng con la siguiente formula:

$$n = \frac{24.000 * 1(65.693)}{1.000.000} = 621$$

Luego de calcular DPMO y aplicar el resultado en la fórmula de ng, se obtuvo la cantidad total de incidencias o servicios defectuosos que se generan en el sistema. A partir de este valor y teniendo en cuenta que ng es también la sumatoria de todas las no conformidades del sistema de cada proceso, los calculo así:

$$n_1 = 3n_2 = 3n_3 = 3n_4 = 4n_5$$

$$n_1 = 6n_6 = 6n_7$$

Comenzamos a despejar estas ecuaciones:

$$n_2 = \frac{n_1}{3} \quad n_3 = \frac{n_1}{3} \quad n_4 = \frac{n_1}{3} \quad n_5 = \frac{n_1}{4} \quad n_6 = \frac{n_1}{6} \quad n_7 = \frac{n_1}{6}$$

$$ng = 1n_1 + \frac{1}{3n_1} + \frac{1}{3n_1} + \frac{1}{3n_1} + \frac{1}{4n_1} + \frac{1}{6n_1} + \frac{1}{6n_1} \quad ng = 2,54n_1$$

$$n_1 = \frac{ng}{2,54} \quad \text{Ecuacion (6)}$$

Después de determinar la cantidad de incidencias que se generaron en cada proceso, se procede a obtener la cantidad de unidades que salen de cada proceso con la siguiente formula:

$$s = u - n_1 \quad \text{Ecuacion (7)}$$

Esto debemos dividirlo entre 4 para obtener la entrada del proceso 2, 3, 4 y 5 respectivamente:

$$\frac{sp1}{4} = \frac{23.379}{4} = 5.845 \quad \text{Ecuacion (8)}$$

Para la entrada del proceso 6, sumamos las salidas del proceso 2 y 3, teniendo en cuenta la resta con el número de incidencias en cada proceso, y que el resultado sp2 sera la misma salida para el proceso 2, 3 y 4:

$$sp2 = 5845 - n_2 = 5638 \quad \text{Ecuacion (9)}$$

$$sp5 = 5845 - n_5 = 5690 \quad \text{Ecuacion (10)}$$

Para la entrada y salida del proceso 6:

$$Ep6 = sp2 + sp3 = 11276 \quad \text{Ecuacion (11)}$$

$$sp6 = 11276 - n_6 = 11173 \quad \text{Ecuacion (12)}$$

Y por último para la entrada y salida del proceso 7:

$$Ep7 = sp3 + sp4 = 11276 \quad \text{Ecuacion (13)}$$

$$sp7 = 11276 - n_7 = 11173 \quad \text{Ecuacion (14)}$$

Ya teniendo todos los valores de n y de u , se procede a hallar el nivel sigma de cada proceso, así como el rendimiento del proceso, la curva de rendimiento de corrida (RPC) y el indicador geométrico de capacidad multivariante con las siguientes formulas:

$$Z = \sqrt{29,3 - 2,221 * \ln(DPMO)} + 0.8406 \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$y = 1 - \frac{n}{u - o} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$RPC = 1 - \left(\frac{y}{1 - y} \right) \quad \text{Ecuacion (17)}$$

Esto nos da un total de rendimiento global del proceso de servicios de alimentos de:

$$yg = 1 - \frac{1577}{24000 * 1} = 0.934$$

Para valorar el desempeño del sistema y los procesos se realizó un análisis de sensibilidad en la escala de Seis Sigma, en el rango asociado a las condiciones de operación del sistema que oscila entre 3,0 a 5.4 de acuerdo con el sistema objeto de esta investigación. Valorando cada nivel sigma según el resultado obtenido, de la siguiente manera:

Tabla 2. *Criterios de desempeño para el sistema evaluado*

Nivel sigma (Z)	Desempeño
$Z < 3,0$	Deficiente
$3,0 \leq Z \leq 3,5$	Aceptable
$3,5 < Z \leq 4,6$	Bueno
$Z > 4,6$	Excelente

Por otro lado, se aplicó el indicador geométrico de capacidad multivariante (CM_K^T), este propone el monitoreo de v características utilizando la siguiente formula:

$$CM_K^T = \frac{1}{3} \Phi^{-1} \left\{ \frac{[\prod_{j=1}^v P_j]^{\frac{1}{k}} + 1}{2} \right\} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Esta metodología ofrece un cálculo del promedio geométrico de las unidades que cumplen con los estándares en v dimensiones relacionadas con el control de calidad.

$$\sum_{i=1}^k \frac{p_k^i}{k} \quad j=1, 2, \dots, v \text{ Ecuación (19)}$$

P_j representa el promedio de servicios no conformes (n) en la dimensión j , y p_k son las medidas de rendimiento promedio de los procesos o dimensiones objeto de la evaluación, es decir,

$$p_k = 1 - n_i \text{ donde } i = 1, 2, \dots, k$$

Para el indicador de capacidad geométrico de capacidad, el desempeño del sistema multivariado se valorará con la Tabla 3.

Tabla 3. *Criterios de desempeño del indicador geométrico de capacidad*

Indicador geométrico de capacidad (SM_k^T)	Desempeño
$CM_k^T < 0,5$	Deficiente
$0,5 \leq CM_k^T \leq 0,75$	Bueno
$CM_k^T > 0,75$	Excelente

Resultados

A continuación, se presenta el modelo propuesto, el cual permite evaluar el rendimiento de los procesos de prestación de servicios de alimentos mediante la aplicación de métricas de calidad basadas en la metodología Seis Sigma. Para este propósito, se desarrolló un análisis de sensibilidad orientado a examinar el comportamiento del sistema ante variaciones en el nivel de desempeño de calidad, representado por el valor sigma (Z). Este enfoque permitió identificar cómo los cambios en el nivel sigma afectan el rendimiento operativo y la generación de servicios no conformes en cada etapa del proceso. Los resultados obtenidos a partir de este análisis se describen a continuación:

Resultado de las métricas de Seis Sigma aplicadas a cada uno de los procesos que integran el servicio de alimentos

De acuerdo con la información contenida en la Tabla 4 y considerando las condiciones operativas del sistema de prestación de servicios de alimentos, así como los resultados del análisis de sensibilidad, se evidencia una variación significativa en los niveles sigma del servicio global. Estos niveles oscilan entre 3,00 (desempeño aceptable) y 5,40 (desempeño excelente), lo cual indica que el sistema opera, en general, dentro de un rango que va desde un estándar mínimo aceptable hasta niveles cercanos a la excelencia.

Tabla 4. *Valores mínimos y máximos para cada proceso de acuerdo con las métricas Seis Sigma*

VALORES MIN Y MAX PARA CADA PROCESO								
PROCESOS	MÍNIMOS				MÁXIMOS			
	Z	Y	RPC	Desempeño	Z	Y	RPC	Desempeño
Servicio global	3,00	93,43%	15	Aceptable	5,40	100,00%	21656	Excelente
Proceso de recepción de pedidos	3,44	97,41%	39	Aceptable	5,35	99,99%	17369	Excelente
Proceso de preparación de alimentos	3,30	96,46%	28	Aceptable	5,02	99,98%	4815	Excelente
Proceso de preparación de acompañantes	3,30	96,46%	28	Aceptable	5,02	99,98%	4815	Excelente
Proceso de preparación de hamburguesas	3,30	96,46%	28	Aceptable	5,02	99,98%	4815	Excelente
Proceso de otros servicios	3,42	97,35%	38	Aceptable	5,09	99,98%	6420	Excelente
Proceso de entrega combo alimentos	3,85	99,08%	109	Sobresaliente	5,36	99,99%	18577	Excelente
Proceso de entrega combo hamburguesas	3,85	99,08%	109	Sobresaliente	5,36	99,99%	18577	Excelente

En particular, el proceso de recepción de pedidos presenta un nivel sigma que varía entre 3,44 y 5,35, reflejando un buen desempeño con margen para optimizar la calidad del servicio. En el proceso de preparación de alimentos se identificó un rango entre 3,30 y 5,02, lo cual evidencia un comportamiento aceptable con un alto potencial de mejora. El proceso de elaboración de acompañantes mantiene un comportamiento estadísticamente similar, también con niveles sigma entre 3,30 y 5,02, sugiriendo oportunidades concretas para fortalecer la eficiencia operativa y reducir la variabilidad.

El proceso de preparación de hamburguesas registra un nivel sigma entre 3,30 y 5,02, ratificando la posibilidad de implementar estrategias de mejora continua. En cuanto al proceso de otros servicios, se observa una variación entre 3,42 y 5,09, lo que muestra una base sólida con capacidad para alcanzar un nivel más alto de desempeño. Por su parte, el proceso de entrega del combo de alimentos parte de un nivel sobresaliente de 3,85 y puede alcanzar hasta 5,36, lo cual sugiere que se trata de un proceso altamente consolidado que aún presenta espacio para la optimización. Además, el proceso de entrega del combo de hamburguesa refleja un comportamiento prácticamente idéntico al anterior, con un rango de 3,85 a 5,36, consolidándose como un proceso de alto desempeño con capacidad para operar en el umbral de la excelencia.

Sin duda alguna, los resultados reflejan que todos los procesos del sistema, bajo las condiciones evaluadas a través del control estadístico, tienen la capacidad de operar en un rango que varía entre aceptable y excelente. Particularmente, los procesos relacionados con la entrega de combos de alimentos y hamburguesas se destacan como áreas con buenos niveles de calidad dentro del sistema, ya que se mantienen consistentemente cercanos al nivel sigma excelente, lo que evidencia un alto desempeño y madurez operativa.

Análisis de resultados de la Curva de Rendimiento Promedio de Corrida (RPC)

Después de realizar los cálculos y construir la curva Z Vs RPC(n) se puede mencionar que los resultados señalan las siguientes condiciones de control en términos de los servicios a prestar para detectar que Z cambio para los procesos objeto de esta investigación. Para el proceso de recepción de pedidos, proceso de preparación de alimentos, proceso de preparación de acompañantes, proceso de preparación de hamburguesas, proceso de otros servicios, proceso de entrega de combo de alimentos y hamburguesa, asimismo el análisis global del sistema de prestación de servicios de alimentos en investigación, se analizó en condiciones cambiantes; con respecto a las variaciones del nivel de desempeño global Z de 3,0 a 5.4 no generó la Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC) para los diferentes procesos del servicio de alimentación

De la Figura 5 de rendimiento promedio de corrida, se observa que el proceso de recepción de pedidos es uno de los procesos menos sensible para detectar los cambios en la prestación de servicio, considerando que se requieren 17330 servicios para detectar su máxima variación de 3,44 a 5,35 de acuerdo a las condiciones de operación del sistema.

De la Figura 6 ,7 8 y sus respectivas curvas de rendimiento promedio de corrida se observan que estas muestran un desempeño igual para detectar los cambios en el nivel de desempeño de calidad cuando esta varía de su menor nivel a su mayor nivel. Se observan que se requieren prestar 4787 servicios para poder detectar que el nivel de desempeño de calidad Z cambio entre su punto máximo y Mínimo. Lo que los constituyen en los procesos más sensibles para monitorear y controlar que Z cambio.

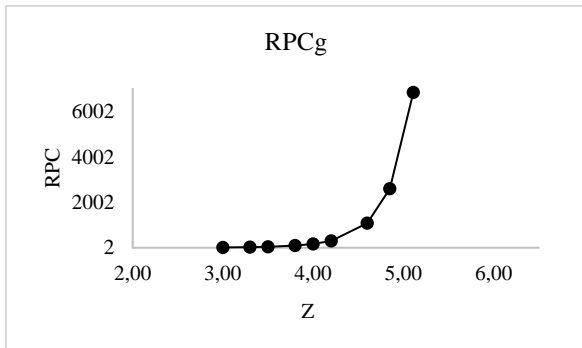
Del proceso de otros servicios, de la curva de rendimiento promedio de corrida Figura 9, se analiza que se requieren prestar 6382 servicios para detectar que el nivel de desempeño de calidad Z cambio de 3,42 a 5,09.

De la Figuras 10 y 11 es decir Procesos de entrega de entrega de combos de Alimentos y Hamburguesa se evidencia que para estos se requieren prestar 18468 servicios para controlar que el nivel de desempeño Z cambio de 3,85 a 5,36. Es decir el proceso más crítico para poder detectar los cambios de variación.

El sistema global muestra que se requieren prestar 21641 servicios para poder detectar y controlar que el nivel de desempeño de la calidad cambio de 3 a 5,4, esto de acuerdo con las condiciones de operación del sistema de alimentos objeto de esta investigación.

El análisis de las curvas de rendimiento promedio de corrida del sistema global y sus procesos permite evidenciar cuales son los procesos más sensibles para detectar el cambio en el nivel de desempeño de la calidad, lo que facilita la monitorización de los procesos a lo largo de la prestación de n servicios y de esta forma se garantiza la priorización de las acciones para el control y toma de decisiones para la mejora de calidad.

Figura 4. Servicio global, curva de operación (RPC) para cada nivel sigma (Z)



De la Tabla 4, también se puede analizar la capacidad que tiene la organización para detectar los cambios en su nivel sigma en función de los servicios prestados, para el sistema de control estadístico planteado, de acuerdo los criterios de desempeño establecidos en la Tabla 2. Cuando se analiza el proceso global se observa que esta muestra que para un Z de 3.0 mínimo aceptable, el número de rendimiento promedio de corrida presenta un valor de 15 y para el máximo $Z=5.4$ el rendimiento promedio de corrida es igual a 21656 servicios, de la diferencia se observa que se necesitan prestar 21641 servicios para detectar que el nivel de desempeño Z cambio de 3 a 5.4.

Para el proceso de recepción de pedidos, para su menor nivel de $Z_i = 3.44$ (aceptable) se necesitan prestar 39 servicios, mientras que, para alcanzar el nivel $Z_{ii} = 5.35$ (excelente) se requieren prestar 17369, por lo que se requieren prestar 17330 servicios para poder detectar que Z cambio de 3.44 a 5.35. Para el proceso de preparación de alimentos, preparación de acompañantes y el proceso de preparación de Hamburguesas se observa que el RPC alcanza un valor de 28 cuando $Z_i = 3.3$ (aceptable) y se observa un valor de 4815 cuando $Z_{ii} = 5.02$ (excelente), lo que implica que la entidad debe prestar 4787 servicios para poder detectar que el nivel sigma Z cambie de 3.3 a 5.02.

Para otros servicios se observa que el RPC alcanza un valor de 38 cuando $Z_i = 3.42$ (aceptable) y se observa un valor de 6420 cuando $Z_{ii} = 5.09$ (excelente), lo que implica que la entidad debe prestar 6382 servicios para poder detectar que el nivel sigma Z cambie de 3.42 a 5.09. Finalmente, para procesos de entrega de combos alimentos y el proceso de entrega de combo Hamburguesa se observa que se requieren prestar 18468 servicios en estos dos contextos para detectar que el nivel Z cambie 3.85 a 5.86. Criterios de control que permiten comprender que tan sensible son los procesos al interior de la organización para detectar que la medida de dispersión cambio de Z_i a Z_{ii} .

Análisis de resultados de la calidad del servicio desde Seis Sigma e Indicador Geométrico de capacidad multivariante

En la Tabla 5 se señalan las métricas Seis Sigmas y el rendimiento promedio necesario para evaluar el indicador Geométrico de capacidad multivariable. Estos datos permiten visualizar el comportamiento individual de los procesos y del sistema en conjunto, brindando una mejor comprensión del desempeño global.

Tabla 5. *Rendimiento promedio para el cálculo del indicador geométrico de capacidad multivariable*

Recepción De Pedidos	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	3,43546893	25863,3754	0,974136625	0,987986165
	3,68998323	13859,1651	0,97228167	
	3,8642972	8740,79577	0,973777613	
	4,13125112	4092,04894	0,983631804	
	4,31221991	2358,55882	0,988207206	
	4,49517313	1311,32215	0,992132067	

Continuación Tabla 5.

Recepción De Pedidos	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	4,86594778	363,835569	0,997453151	
	5,10036816	151,749491	0,998786004	
	5,34594269	57,5744239	0,99948183	
	6,05119161	2,6324452	0,999973676	
Preparación de Alimentos	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	3,29748277	35398,974	0,964601026	
	3,5649188	18968,9172	0,981031083	0,992225689
	3,746744	11963,4502	0,98803655	
	4,02357234	5600,75133	0,994399249	
	4,21032891	3228,13867	0,996771861	
	4,39852537	1794,79507	0,998205205	
	4,77841068	497,978538	0,999502021	
	5,01774651	207,698191	0,999792302	
	5,26790629	78,8016068	0,999921198	
	5,98386677	3,60300455	0,999996397	
Otros Servicios	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	3,29748277	35398,974	0,964601026	0,994169267
	3,5649188	18968,9172	0,981031083	
	3,746744	11963,4502	0,98803655	
	4,02357234	5600,75133	0,994399249	
	4,21032891	3228,13867	0,996771861	
	4,39852537	1794,79507	0,998205205	
	4,77841068	497,978538	0,999502021	
	5,01774651	207,698191	0,999792302	
	5,26790629	78,8016068	0,999921198	
	5,98386677	3,60300455	0,999996397	
Entrega de combo de Alimentos	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	3,84645257	9174,66313	0,990825337	0,997985064
	4,06872479	4916,34094	0,995083659	
	4,22357941	3100,6725	0,996899328	
	4,46416036	1451,59594	0,998548404	
	4,62926067	836,665064	0,999163335	
	4,7975824	465,17281	0,999534827	
	5,14237053	129,065473	0,999870935	
	5,36248342	53,8309652	0,999946169	

Continuación Tabla 5.

Entrega de combo de hamburguesa	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	3,84645257	9174,66313	0,990825337	0,997985064
	4,06872479	4916,34094	0,995083659	
	4,22357941	3100,6725	0,996899328	
	4,46416036	1451,59594	0,998548404	
	4,62926067	836,665064	0,999163335	
	4,7975824	465,17281	0,999534827	
	5,14237053	129,065473	0,999870935	
	5,36248342	53,8309652	0,999946169	
	5,59453707	20,4237048	0,999979576	
6,26757612	0,93382235	0,999999066		
Preparación de Acompañantes	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	3,29748277	35398,974	0,964601026	0,992225689
	3,5649188	18968,9172	0,981031083	
	3,746744	11963,4502	0,98803655	
	4,02357234	5600,75133	0,994399249	
	4,21032891	3228,13867	0,996771861	
	4,39852537	1794,79507	0,998205205	
	4,77841068	497,978538	0,999502021	
	5,01774651	207,698191	0,999792302	
	5,26790629	78,8016068	0,999921198	
5,98386677	3,60300455	0,999996397		
Preparación de Hamburguesas	Z	DPMO	Y	REND. PROMEDIO
	3,29748277	35398,974	0,964601026	0,992225689
	3,5649188	18968,9172	0,981031083	
	3,746744	11963,4502	0,98803655	
	4,02357234	5600,75133	0,994399249	
	4,21032891	3228,13867	0,996771861	
	4,39852537	1794,79507	0,998205205	
	4,77841068	497,978538	0,999502021	
	5,01774651	207,698191	0,999792302	
	5,26790629	78,8016068	0,999921198	
5,98386677	3,60300455	0,999996397		

Considerando las ecuaciones 18 y 19 se procedió a calcular el rendimiento promedio de los procesos, con lo cual se pudo calcular el indicador geométrico de calidad multivariable, que permite analizar de forma global y multivariantes el desempeño del sistema de control estadístico de la calidad. Con este indicador se aporta una valoración integral del sistema de prestación de servicios evaluado. Los cálculos del rendimiento promedio de cada proceso se presentan al Tabla 6 y se constituyen en el insumo para la valoración del indicador multivariante:

Tabla 6. Promedio de los procesos para calcular el indicador geométrico de capacidad

Indicador geométrico de capacidad		
Procesos	Y promedio	D.N.E.I.
Proceso de recepción de pedidos	0,987986165	0,940439023
Proceso preparación de alimentos	0,992225689	
Proceso preparación de Acompañantes	0,992225689	
Proceso preparación de Hamburguesas	0,992225689	
Proceso de otros Servicios	0,994169267	
Proceso de entrega de Combo Alimentos	0,997985064	
Proceso de entrega de Combo Hamburguesa	0,997985064	

$$CM \frac{T}{K} = \frac{1}{3} \phi - 1 \frac{\left\{ \left[\pi_j^y = 1 \left(\frac{0,987+...+0,992}{7} x \dots x \frac{0,9979+...0,9979}{7} \right) \right]^{\frac{1}{7}} + 1 \right\}}{2} \quad \text{Ecuación (20)}$$

$$= \frac{1}{3} \phi - 1 \left\{ \left[\frac{(0,9879 x \dots x 0,9979)^{\frac{1}{7}}}{2} + 1 \right] \right\}$$

$$= \frac{1}{3} \phi - 1 \left\{ \frac{[(1,995472) + 1]}{2} \right\}$$

$$= \frac{1}{3} \phi - 1 \{0,99773\} = 0,901748276$$

Al revisar los criterios de desempeño

Si CMT < 0,5 El desempeño del servicio es deficiente

0,5 ≤ CMT < 0,75 El desempeño es bueno

Si CMT ≥ 0,75 El desempeño del servicio es excelente

Los resultados alcanzados indican que el indicador geométrico evalúa de manera global el desempeño de todos los procesos del servicio de alimentos mediante la integración de variables relacionadas con el rendimiento de cada proceso, por tanto, una vez obtenido el índice de capacidad del proceso se puede señalar que la calidad general y específica del servicio de alimentos es excelente, debido a que el indicador de capacidad de calidad geométrico multidimensional es 0.901 superior a $CMT \geq 0,75$.

Como hallazgo asociado a las curvas de rendimiento promedio de corrida RPC se puede señalar que los procesos de preparación de alimentos, preparación de acompañantes y el proceso de preparación de Hamburguesas, son los más sensibles para detectar cambios en el nivel sigma. Se considera que estos procesos requieren el menor número de servicios prestados para detectar que se generó un cambio en el nivel sigma Z.

Del indicador de capacidad multivariable se puede observar que cuando se analiza todo el sistema desde una perspectiva multivariable asociada a los procesos de prestación de servicios de alimentación objeto de esta investigación se puede señalar que, este permite generar una medición integral con la cual se puede evidenciar que el servicio tiene un desempeño excelente.

Como hallazgo, también se puede mencionar que los resultados de esta investigación proponen la evaluación de los procesos en el servicio de alimentación con lo que genera importantes aportes en diversas áreas de la organización. Con este enfoque, la empresa puede fortalecer la interpretación y el ajuste de procesos, lo que contribuye a alcanzar niveles sigma más altos y, en consecuencia, a mejorar la calidad del servicio en función de los desempeños diferenciados de los procesos del sistema.

Discusión

El cálculo del indicador geométrico multivariado de capacidad ($CM T/K = 0,908$), obtenido a partir del rendimiento promedio de siete procesos de un sistema de prestación de servicios de alimentos, evidencia un comportamiento estadístico altamente eficiente y consistente. Este resultado, cercano al umbral de excelencia operativa, representa una condición de estabilidad con mínima dispersión entre los procesos evaluados. Comparativamente, estudios como el de Fontalvo et al. (2024a) reportan valores inferiores de capacidad geométrica (0,7091) y media (0,7094) en servicios turísticos, lo que sugiere que, bajo condiciones similares, el sistema alimentario evaluado en este estudio supera en robustez multivariada a otros entornos de servicios no alimentarios. Asimismo, Banquez y Fontalvo (2023) hallaron un indicador de desempeño de 0,778 en servicios logísticos públicos, lo cual reafirma que el modelo de prestación alimentaria presenta un comportamiento superior en términos de integración, estabilidad y control de calidad. En contraste, Herrera et al. (2022) aplicaron gráficos T^2 y métricas multivariadas a servicios de fumigación, identificando una mayor dispersión entre dimensiones, lo que confirma la ventaja técnica del sistema alimentario aquí estudiado.

A nivel de sensibilidad sigma, este estudio identificó niveles Z mínimos de 3,00 y máximos de 6,27, evidenciando una capacidad de adaptación del sistema a condiciones operativas variables sin pérdida sustancial de calidad. Esta amplitud de rango permite analizar la resiliencia del sistema y comparar su estabilidad frente a investigaciones como la de Madhani (2022), quien destacó que sistemas de recursos humanos muestran mejoras marginales al superar el umbral de $Z = 4,0$, mientras que en este caso se alcanza un rendimiento superior al 99,98%. Adicionalmente, el trabajo de Dolgui et al. (2022), centrado en líneas de producción con máquinas no confiables, reporta dificultades para superar niveles sigma de 4,5, lo que refuerza la eficiencia del sistema alimentario en términos de rendimiento y capacidad bajo presión operativa. Saporito et al. (2023), en su evaluación de procesos de esterilización quirúrgica, validan mejoras operativas significativas al alcanzar $Z = 5,1$, valor que también es superado por varios procesos en este estudio, como la entrega de combos, lo cual sugiere que el modelo implementado permite identificar zonas críticas y gestionar con precisión el desempeño mediante métricas RPC.

Desde una perspectiva metodológica, este estudio aporta una contribución significativa al diseño y validación de curvas de operación con métricas Seis Sigma integradas a análisis multivariados, lo cual permite comparar la evolución de indicadores como el rendimiento (Y) y el DPMO frente al nivel sigma. A diferencia de estudios como los de Kumar et al. (2021), que abordan la integración de Seis Sigma con tecnologías de Industria 4.0 de forma general, esta investigación propone un enfoque concreto de modelamiento matemático con aplicación directa en decisiones operativas. Por su parte, Chen et al. (2003) ya habían planteado formulaciones para procesos con múltiples características, pero no desarrollaron su aplicación en un sistema completo de servicios. Aquí, se presenta un avance metodológico que combina indicadores geométricos multivariados y sensibilidad sigma en tiempo real, ofreciendo una lectura integral de la calidad del sistema. Además, el enfoque replicable propuesto coincide con los postulados de Banquez y Fontalvo (2023), quienes destacan que el uso conjunto de indicadores multivariados y métricas sigma permite decisiones más ágiles y oportunas ante pequeñas variaciones del proceso.

Conclusiones

La presente investigación integró de forma estructurada y rigurosa herramientas fundamentales de gestión de calidad, como las métricas Seis Sigma, las curvas de rendimiento promedio de corrida (RPC) y los indicadores geométricos multivariados, para evaluar de manera integral el desempeño del sistema de prestación de servicios de alimentos. Los resultados evidencian que el sistema opera con altos niveles de eficiencia y estabilidad estadística, superando los estándares de desempeño esperados, especialmente en los procesos asociados a la entrega de combos de alimentos y hamburguesas. En este contexto, la metodología propuesta no solo permitió cuantificar la variabilidad del sistema bajo condiciones operativas variables, sino también identificar zonas críticas y oportunidades de mejora mediante el análisis del comportamiento sigma y su impacto sobre el rendimiento global del servicio.

Como contribución técnica distintiva, este estudio desarrolló un enfoque metodológico basado en el uso combinado de curvas RPC y métricas Seis Sigma ajustadas a distintos niveles sigma (Z), lo cual permitió modelar la sensibilidad del sistema ante fluctuaciones y determinar con precisión el número de servicios necesarios para detectar cambios significativos en el nivel de calidad. Este enfoque facilita la medición de la dispersión del desempeño, tanto a nivel individual como agregado, y se constituye en una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones en entornos de alta exigencia operativa. De la misma forma, la formulación del indicador geométrico multivariado aportó una visión integrada de los procesos, permitiendo evaluar la calidad del sistema bajo un enfoque sistémico y multidimensional.

Desde el punto de vista estratégico, la investigación demuestra la pertinencia de articular los conceptos de calidad del servicio con modelos estadísticos avanzados como Seis Sigma, estableciendo estándares de rendimiento que posibilitan medir, controlar y mejorar las variables críticas del sistema. Esta articulación entre teoría y práctica refuerza el enfoque de mejora continua, mientras que incide positivamente en la satisfacción del cliente final. Además, el modelo desarrollado es replicable y escalable, por lo que su aplicación se proyecta a otros sectores donde la calidad del servicio sea un factor determinante para la competitividad.

Finalmente, se alienta a la comunidad académica y a las organizaciones a replicar y adaptar este modelo en diferentes contextos productivos y de servicios. Su implementación puede contribuir de manera significativa a fortalecer los sistemas de control estadístico de la calidad, particularmente en condiciones operativas cambiantes. La capacidad de las curvas RPC para anticipar desviaciones y evaluar con mayor sensibilidad el comportamiento sigma del sistema representa una innovación metodológica relevante que merece ser explorada en futuros estudios.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada en el marco de los planes de fortalecimiento de los grupos de investigación de la Universidad de Cartagena. En particular, el del grupo de investigación de calidad y productividad organizacional integral CYPROI, categorizado en A en MinCiencias.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad de Cartagena (Colombia) por su apoyo institucional en el desarrollo de esta investigación. Asimismo, extendemos nuestra gratitud al grupo de investigación de calidad y productividad organizacional integral CYPROI por su respaldo académico y logístico, así como a todos los colegas e investigadores que contribuyeron con sus conocimientos y reflexiones a lo largo de este proceso, para alcanzar y presentar los resultados de esta investigación.

Referencias

- Aboelmaged, M. (2011). Reconstructing Six Sigma barriers in manufacturing and service organizations: The effects of organizational parameters. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 28(5), 519-541. <https://doi.org/10.1108/02656711111132562>
- Banquez, A., & Fontalvo, T. (2023). Global performance evaluation based on multivariable statistical control of a public utility company. *Pesquisa operacional*, 43(1), 1-18. <https://doi.org/10.1590/01017438.2023.043.00270103>
- Chen, K., Pearn, W., & Lin, P. (2003). Capability measures for processes with multiple characteristics. *Quality and Reliability Engineering International*, 19(2), 101-110. <https://doi.org/10.1002/qre.513>
- Costa, J., Lopes, I., & Brito, J. (2019). Six Sigma application for quality improvement of the pin insertion process. *Procedia Manufacturing*, 38, 1592-1599. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.126>
- Delahoz-Dominguez, E., Fontalvo, T., & Fontalvo, O. (2020). Evaluación de la calidad del servicio por medio de Seis Sigma en un centro de atención documental en una universidad. *Formación Universitaria*, 13(2), 93-102. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062020000200093>
- Djarmiko, D., & Handayati, Y. (2023). Quality improvement to enhance customer satisfaction using Lean Six Sigma (Case study: XYZ Restaurant). *International Journal of Current Science Research and Review*, 6(2). <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V6-i2-64>
- Dolgui, A., Eremeev, A., & Sigaev, V. (2022). On local optima distribution in buffer allocation problem for production line with unreliable machines. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1092-1097. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.535>
- Fontalvo, T., Mejía, F., & Oyuela, G. (2024a). Evaluación con curvas de operación de métricas Seis Sigma el desempeño de sistemas productivos mixtos. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.17081/invinno.11.2.6680>
- Fontalvo-Herrera, T., Díaz-Sarmiento, L., & Segura-Fuentes, E. (2020a). Valoración de la calidad del servicio Seis Sigma en el sector turístico. *Desarrollo Gerencial*, 12(2), 1-18. <https://doi.org/10.17081/dege.12.2.3686>
- Fontalvo, T., Herrera, R., & Delahoz-Dominguez, E. (2020b). Multivariate statistical control method to assess quality dimensions in an industrial tank washing company. *Información Tecnológica*, 31(5), 109-118. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000500109>
- Fontalvo, T., Delahoz-Dominguez, E., & Fontalvo, O. (2022). Six Sigma method to assess the quality of the service in a gas utility company. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 12(2), 220-240. <https://doi.org/10.1504/IJPMB.2022.121628>
- Fontalvo, T., García, K., & Banquez, A. (2025). Curvas de operación de métricas Seis Sigma para evaluar la calidad de un proceso de producción paralelo convergente. *Prospectiva*, 23(1). <https://doi.org/10.15665/rp.v23i1.3380>
- Fontalvo, T., Herrera, R., & Banquez, A. (2024b). Performance evaluation method of the service quality dimensions using Six Sigma metrics, the main components' quality indicator and the geometric capacity indicator. *Engineering management in production and services*, 16(1). <https://doi.org/10.2478/emj-2024-0005>

- Fontalvo, T. J., Banquez, A. G., & Mendoza, K. (2024c). Performance of a concurrent parallel production system through new operating curves of Six Sigma metrics. *Production*, *34*, e20230040. <https://doi.org/10.1590/01036513.20230040>
- Fontavo, O., Fontalvo, T., & Banquez, A. (2024d). Method To Assess, Classify And Project Theft Clusters In Colombia By Means Of Clustering And Neural Networks. (2024). *Journal of Namibian Studies: History Politics Culture*, *40*, 294-313. <https://doi.org/10.59670/r7c37867>
- Fontalvo, T., Mejía, F., & Banquez, A. (2024e). Personal Evaluation in Job Search Considering: Vocation, Responsibility and Self-Confidence by Means Of Six Sigma and A Geometric Multivariate Capability Indicator. *Migration Letters*, *21*(5), 1428-1441. <https://migrationletters.com/index.php/ml/article/view/9857>
- Fontalvo, T. J., Banquez, A. G., & Fontalvo, A. C. (2024f). New multivariate capacity indicators with Six Sigma metrics to assess service quality. *Production*, *34*, e20240052. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20240052>
- Franco, D., & Perrián, A. (2020). Evaluación de la calidad al servicio prestado por las compañías de seguros de vida en Colombia, mediante las métricas del Seis Sigma. Trabajo de grado no publicado, Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Goel, P., Et al. (2021). Analysis of performance of clinical biochemistry laboratory using Sigma metrics and Quality Goal Index. *Practical Laboratory Medicine*, *23*, e00195. <https://doi.org/10.1016/j.plabm.2020.e00195>
- Hariyani, D., & Mishra, S. (2022). Drivers for the adoption of integrated sustainable green lean six sigma agile manufacturing system (ISGLSAMS) and research directions. *Cleaner Engineering and Technology*, *7*, 100449. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100449>
- Herrera, T., Herrera, R., & González, Y. (2022). Yield-level performance of quality dimensions through T² charts and multivariate capacity indicators applied to a fumigation services company. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, *41*(1), 71-89. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2022.122973>
- Kumar, P., Et al. (2021). Integration between Lean, Six Sigma and Industry 4.0 technologies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, *13*(1-3), 19-37. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2021.120224>
- Madhani, P. (2022). Lean Six Sigma deployment in HR: Enhancing business performance. *International Journal of Human Resources Development and Management*, *22*(1/2), 75-101. <https://doi.org/10.1504/IJHRDM.2022.121314>
- Maturana, A., & Fontalvo, T. (2023). Comparative analysis of multivariate capacity indicators for serial and parallel systems. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, *1*(1). <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2023.10058903>
- Montero, G., & Mora, B. (2020). Evaluación de la calidad percibida del servicio por los consumidores en los restaurantes de la ciudad de Milagro. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, *4*(2), 176-199. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7888286.pdf>
- Morales-Morales, J.J., Lara ,I & Morales-Morales J.R.,Et al. (2023a). La cultura organizacional como medio para una mayor calidad de vida y la calidad en el servicio. *Scientia et PRAXIS*, *3*(6), 46-68. <https://doi.org/10.55965/setp.3.06.a3>
- Morales-Morales, J.J., Valde,N., Morales-Morales.,J.R & Yee, A., (2023b). Calidad en el servicio hotelero: Propuesta de metodología experimental. *Revista Venezolana de Gerencia*, *28*(104), 1717-1734. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.28.104.21>

- Salazar, D. (2023). Proceso de compra del consumidor en restaurantes y cafeterías de la ciudad de Quito. *Innovar*, 34(91). <https://doi.org/10.15446/innovar.v34n91.103059>
- Salazar, W. (2022). Experiencia de educación sensible en tres centros comerciales de Medellín; una experimentación con arte contemporáneo. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 67, 305-323. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n67a12>
- Saporito, A., Tassone, C., Di Iorio, A., Barbieri- Saraceno, M., Bressan, A., Pini, R., Mongelli, F., La Regina, D., (2023). Six Sigma can significantly reduce costs of poor quality of the surgical instruments sterilization process and improve surgeon and operating room personnel satisfaction. *Scientific Reports*, 13(14116), 1-9. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41393-x>
- Silva, H. M. M., Vanalle, R. M., Lucato, W. C., & Calarge, F. A. (2023). Relevance of Barriers for Six Sigma Implementation in Industrial Organizations. *Latin American Business Review*, 24(3), 207-241. <https://doi.org/10.1080/10978526.2023.2222080>
- Zacharia, A., & Ravichandran, J. (2022). Six Sigma-based RS, MDSS and MDSRS control charts. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 3(4), 435-455. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2021.120576>
- Zambrano, J., Herrera, R., & Fontalvo, T. (2020). Three-phase method to assess the logistics service using Six Sigma metrics, Hotelling's T-square control chart and a principal component capacity indicator. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 1(1), 1-15. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2020.10042140>
- Zapata, N., Quiroz, M., Lopez, J., Patiño, O., & Valencia, J., (2022). Tendencias en producción científica en el uso del Internet de las Cosas en servicios de restaurantes: Un enfoque bibliométrico. *Revista En-contexto*, 10(17). <https://doi.org/10.53995/23463279.1166>