



Un enfoque de Seis Sigma para evaluar la calidad de la educación superior en Colombia

DELAHOZ-DOMÍNGUEZ, ENRIQUE

Universidad Tecnológica de Bolívar (Colombia)*

Correo electrónico: edelahoz@utb.edu.co

ZULUAGA-ORTIZ, ROHEMI

Universidad del Sinú (Colombia)

Correo electrónico: rohemi.zuluaga@unisinu.edu.co

PERIÑAN-LUNA, ARANTXA*

Correo electrónico: aperinan@utb.edu.co

MENDOZA-BRAND, SILVANA*

Correo electrónico: smendoza@utb.edu.co

RESUMEN

Las instituciones universitarias se enfrentan a retos de competitividad que se enmarcan en las exigencias de la sociedad, los cambios de preferencia de los estudiantes y la evolución tecnológica; esto plantea la necesidad de generar herramientas objetivas para la toma de decisiones que permitan identificar las instituciones que están aportando efectivamente a la formación de profesionales de alto nivel. En el presente trabajo se desarrolla una metodología bajo el enfoque Seis Sigma para medir el desempeño del sistema educativo. Para evaluar la metodología se utilizan datos del examen colombiano para la evaluación de la calidad en la educación superior para el área de Ingeniería. Los resultados muestran que el nivel sigma del sistema educativo colombiano se encuentra en $Z= 2,17$ y un rendimiento $Y= 75\%$, lo que dentro de los criterios establecidos en la investigación es considerado un nivel Aceptable. Como aporte significativo del estudio se presenta una estructura para la evaluación, monitoreo y mejora de la educación universitaria utilizando el enfoque Seis Sigma. La estructura propuesta es replicable y reproducible a cualquier entorno educativo donde se implementen exámenes estandarizados.

Palabras clave: Seis Sigma, educación superior, analíticas de aprendizaje, mejora continua, calidad educativa.

Clasificación JEL: I21; I28; C13.

MSC2010: 97B40; 97D60.

A Six Sigma Approach to Assessing the Quality of Higher Education in Colombia

ABSTRACT

University institutions face challenges of competitiveness derived from the demands of society, changes in student preferences, and technological evolution; this raises the need to generate objective tools for decision-making to identify the institutions that are effectively contributing to the training of high-level professionals. In this research, a methodology is developed under the Six Sigma approach to measuring the performance of the educational system. Evaluating the methodology, data from the Colombian test for the evaluation of quality in higher education in the area of engineering are used. The results show that the sigma level of the Colombian education system is at $Z= 2.17$ and a performance $Y= 75\%$, which according to the criteria established in the research is considered an acceptable level. As a significant contribution of the study, a structure for the evaluation, monitoring, and improvement of university education using the Six Sigma approach is presented. The proposed structure is replicable and reproducible to any educational environment where standardized tests are implemented

Keywords: Six Sigma, higher education, learning analytics, continuous improvement, educational quality.

JEL classification: I21; I28; C13.

MSC2010: 97B40; 97D60.



1. Introducción

La educación universitaria enfrenta retos críticos en la actualidad asociados a sus dimensiones operativas y estratégicas. Según Visbal-Cadavid et al. (2020), la percepción social de las universidades está en decaimiento principalmente por una desconexión con sus principios estratégicos. La concepción general de los objetivos de una universidad moderna está enmarcada en la formación de profesionales idóneos, la generación de conocimiento a través de la investigación y el acompañamiento a la industria y la sociedad en su desarrollo. Sin embargo, la forma en que se mide el desempeño de las universidades ha generado distorsiones en las consideraciones de calidad para determinar la excelencia de una universidad. Es así como la posición en un ranking internacional (Shanghai, Times Higher Education) o la publicación de artículos de investigación se ha convertido en objetivos principales de muchas instituciones. En el anterior contexto, el objetivo de transformar personas a través de la generación de competencias en los estudiantes ha pasado a segundo plano; es así como la medición objetiva del desempeño relativo de las universidades se convierte en una necesidad para los tomadores de decisiones en el ámbito educativo (Pineda & Celis, 2017). Asociado a esto, se encuentra el aumento considerable de la oferta de nuevas universidades y programas académicos, lo que genera un contexto complejo de análisis para los futuros estudiantes con relación a qué y dónde estudiar. Consecuentemente, la evaluación de la calidad de las universidades se ha evidenciado por medio de acreditaciones institucionales, que son otorgadas por agencias independientes que evalúan el cumplimiento de estándares mínimos asociados a la infraestructura, proyección, pertinencia y recursos (Delahoz-Dominguez, Guillen-Ibarra & Fontalvo-Herrera, 2020).

En este contexto, las instituciones de educación deben responder a las necesidades de formación de capital humano que demanda la sociedad y posicionarse como una universidad de calidad a través de una acreditación o posicionamiento en un ranking; sin embargo, no siempre estas metas se encuentran alineadas. Por lo tanto, en la presente investigación se propone un enfoque de Seis Sigma para clasificar, caracterizar y evaluar instituciones de educación superior considerando exclusivamente los resultados académicos de los exámenes nacionales estandarizados a las universidades con programas de Ingeniería. Al considerar solo el aspecto académico por las competencias alcanzadas por los estudiantes se aíslan los factores externos que podrían confundir en la identificación de universidades que están prestando un servicio de alta calidad, pero por no estar clasificadas o referenciadas por una acreditación nacional e internacional no son consideradas como instituciones de excelencia. Así, se propone en primer lugar una revisión de trabajos anteriores para evaluar la calidad del servicio en la educación. En segundo lugar, se implementa la metodología Seis Sigma, considerando como unidades de estudio las universidades con programas de ingeniería en Colombia. En tercer lugar, se calculan las métricas de Nivel sigma (Z), Desempeño (Y) y Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO), para así caracterizar y evaluar las unidades de estudio. Por último, se plantea la discusión de los resultados y hallazgos del proceso de investigación, además de presentar las conclusiones pertinentes.

2. Revisión de la literatura

2.1. Calidad en los servicios

En la literatura encontramos distintos conceptos y enfoques de la calidad de los servicios, sin contar con los comentarios sobre la interpretación y variantes de la calidad en los servicios y la importancia de estos en escenarios competitivos.

Los servicios son actividades económicas que crean valor y proporcionan beneficios a los clientes en tiempos y lugares específicos como resultado de producir un cambio deseado. La percepción del cliente es la perspectiva más utilizada e importante en las evaluaciones de la calidad en servicios. Así mismo, el modelo Service Quality (SERVQUAL) propuesto hace más de 25 años aún es considerado un referente importante y es aplicado en diversos escenarios de servicios (Torres & Vásquez, 2018).

La calidad del servicio puede definirse como una medida en el grado en que el servicio prestado corresponde a las expectativas de los clientes. Por lo tanto, la calidad percibida en la prestación de un servicio se convirtió en un factor determinante de éxito en todos los campos de una actividad comercial. Por lo tanto, la capacidad que tiene una compañía u organización para estimar la calidad de un servicio es un requisito previo para lograr un alto nivel de calidad en dicha provisión del servicio (Hien, 2014; Lee & Kim, 2014).

Así mismo, la calidad está enfocada en la completa satisfacción del cliente y se puede aplicar al producto, servicio o la organización. La calidad total pretende obtener beneficios para todos los miembros de la empresa. Este mismo concepto es una alusión a la mejora continua, con el objetivo de lograr la calidad óptima de manera global (Zambrano & Alá, 2014).

Por otra parte, el modelo SERVPERF propuesto por Cronin y Taylor fue derivado del SERVQUAL propuesto por Parasuraman, el cual pretende medir la calidad del desempeño del servicio como es percibida por los clientes. No obstante, en SERVPERF se resalta que la calidad no necesita ser medida por medio de comparaciones de expectativas del desempeño (Lima et al., 2019).

En la investigación de Song y Lim (2015) se propuso un método para mejorar de la calidad del servicio (SQI), priorizando los atributos inherentes al servicio, así como las expectativas de los clientes para así generar una estimación de la brecha entre los niveles de satisfacción del empleado y clientes, además de un análisis comparativo entre la empresa y sus competidores.

2.2. Seis Sigma en los servicios

La estrategia de Seis Sigma aplica el método DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), que encaja perfectamente para la mejora efectiva de procesos. Así mismo, para poder impregnar la calidad en los productos se debe realizar desde la fase de diseño, se necesita un enfoque preventivo del diseño para el Seis Sigma Design for Six Sigma (Suresh et al., 2016).

Ahora bien, la filosofía, metodología o enfoque del Seis Sigma permite lograr la satisfacción total del cliente por medio de la reducción de las variaciones y aumentar la estabilidad del proceso, el objetivo principal del Seis Sigma es aumentar el nivel sigma, reduciendo los defectos por millón de oportunidades (DPMO) (Suman & Prajapati, 2018). El Seis Sigma tiene como fin alcanzar niveles de desempeño lo más cercano a la perfección, por lo que es un enfoque usado en muchas organizaciones y además su enfoque objetivo permite un proceso ordenado y sistemático, basado en la evidencia, la generación de analíticas de las entradas y procedimientos. Este enfoque de mejoramiento permite que pueda ser implementado indistintamente en compañías manufactureras o de servicios (Ishak et al., 2019).

Por otro lado, un aspecto fundamental del Seis Sigma es el uso de técnicas cuantitativas y estadísticas, enfocadas en la identificación y caracterización de la variabilidad en los procesos, por lo tanto el nombre del enfoque Seis Sigma está basado en la representación objetiva de la variabilidad de un conjunto de datos, lo que permite identificar los estados de conformidad de un proceso y consecuentemente generar el enfoque de Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, de manera que el proceso se encuentre ajustado a los límites establecidos por los requisitos del cliente (Zambrano & Alá, 2014). La metodología del Seis Sigma para la mejora de procesos ha sido aceptada globalmente en toda la industria de servicios. En la pasada década, la aplicación de esta herramienta ha brindado resultados exitosos en las organizaciones del sector salud, gobierno, tecnologías de información y el financiero (Sunder & Antony, 2018).

Por su parte, la implementación del Seis Sigma permite la eliminación de todas las actividades que no añaden valor al proceso. El Seis Sigma es un proceso de mejora continua a lo largo del camino de la empresa, por lo que se necesita conceptualizar la calidad como un aspecto estratégico y contar con el respaldo de la alta directiva para garantizar los recursos necesarios para su óptimo desarrollo. El Seis Sigma hace contribuciones significativas en las principales áreas de las organizaciones en el largo y

medio periodo de desempeño, tales como: diseño del proceso, enfoque y mejoramiento de procesos, participación amplia en la resolución de problemas, intercambio de conocimientos, definición de objetivos, selección de proveedores y toma de decisiones basadas en los datos (Zare, 2011).

El Seis Sigma se compone de una parte estratégica caracterizada por el soporte incondicional de la alta directiva de una empresa y también de un conjunto de técnicas y procedimiento estandarizados alineados con el objetivo de la mejora continua y la sostenibilidad operativa y financiera de la compañía, lo que redundará en procesos robustos, con menor número de no conformidades. Otros aspectos críticos considerados en la metodología son la satisfacción del cliente y la competitividad, lo que algunos autores asocian directamente en la relación del Seis Sigma con el factor del servicio, conceptualizado como Servicio transaccional de Seis Sigma debido a que brinda a las organizaciones un enfoque disciplinado para mejorar la eficiencia del servicio y su eficacia (Hsieh et al., 2012; Shokri, 2014; Surange, 2015).

Consecuentemente de todos los beneficios expresados en la literatura asociada al Seis Sigma, la implementación de esta metodología enfrenta desafíos importantes en cuanto a la limitación de recursos que las compañías otorgan a los procesos de mejora, falta de entrenamiento del personal a cargo de la implementación y una estructura organizativa inadecuada (Gamal, 2011).

2.3. Seis Sigma en la educación

Aunque la gran mayoría de los términos y lenguajes del Seis Sigma están relacionados a los negocios y la manufactura, algunos de sus conceptos principales están relacionados con el campo de la educación. El alcance que se le ha dado al Seis Sigma en la educación es normalmente usado en casos muy específicos de mejora o en conjunto con el enfoque de Malcolm Baldrige para la excelencia en el desempeño (Baldrige criteria for Performance Excellence) para facilitar la aplicación de una estructura educativa de mejoramiento en las organizaciones (LeMahieu et al., 2017).

Sin embargo, existen opiniones divididas sobre la implementación del Seis Sigma en la educación, debido al hecho práctico que el desperdicio y el reproceso en la administración de educación no es tan visible como lo es en la industria manufacturera donde el material residual y las colas tienen una manifestación físicamente notoria (Svensson et al., 2015).

En cuanto al sector universitario, se evidencia que la mayoría de las instituciones no involucran el Seis Sigma dentro de su enfoque gerencial y administrativo debido al pensamiento arraigado que se tiene que esta herramienta de mejora solo se enfoca en procesos productivos y no para mejorar aspectos específicos del ámbito universitario como la docencia y la investigación. Sin embargo, estudios recientes resaltan que esta metodología tiene aplicaciones significativas en la parte de la medición del desempeño, que no es desarrollada de manera estratégica por las instituciones educativas para posteriores procesos de mejora y tampoco es considerado como un aspecto crítico de la gestión universitaria (Lu et al., 2017; Nadeau, 2017; Subbarayalu & Al Kuwaiti, 2017).

En ese mismo orden de ideas, estudios enfocados a la educación superior ilustran los desafíos en la implementación del Seis Sigma en entornos universitarios. Los retos incluyen la tarea de definir adecuadamente los clientes según su relación con la institución, la determinación del valor del servicio ofertado, las dificultades para evaluar el desempeño, la satisfacción de los empleados y la ausencia de esquemas dinámicos de compensación. Por lo tanto, es normal que las universidades consideren a los estudiantes como los clientes principales y el resto de la estructura compuesta por las facultades, los departamentos, el personal no docente y administrativo deben articular la cultura del cliente universitario (Maguad & Krone, 2012).

El modelo de Seis Sigma propuesto por el estudio de Bumjaid y Malik (2019) se centraba en el aprendizaje y entendimiento por parte de los estudiantes y que sus resultados estuviesen alineados a los requisitos de los procesos claves de la institución. Para lograr eso, se realizaba un análisis de la

variabilidad y se promovían los procesos de mejora de manera eficaz y sostenible en el proceso de aprendizaje.

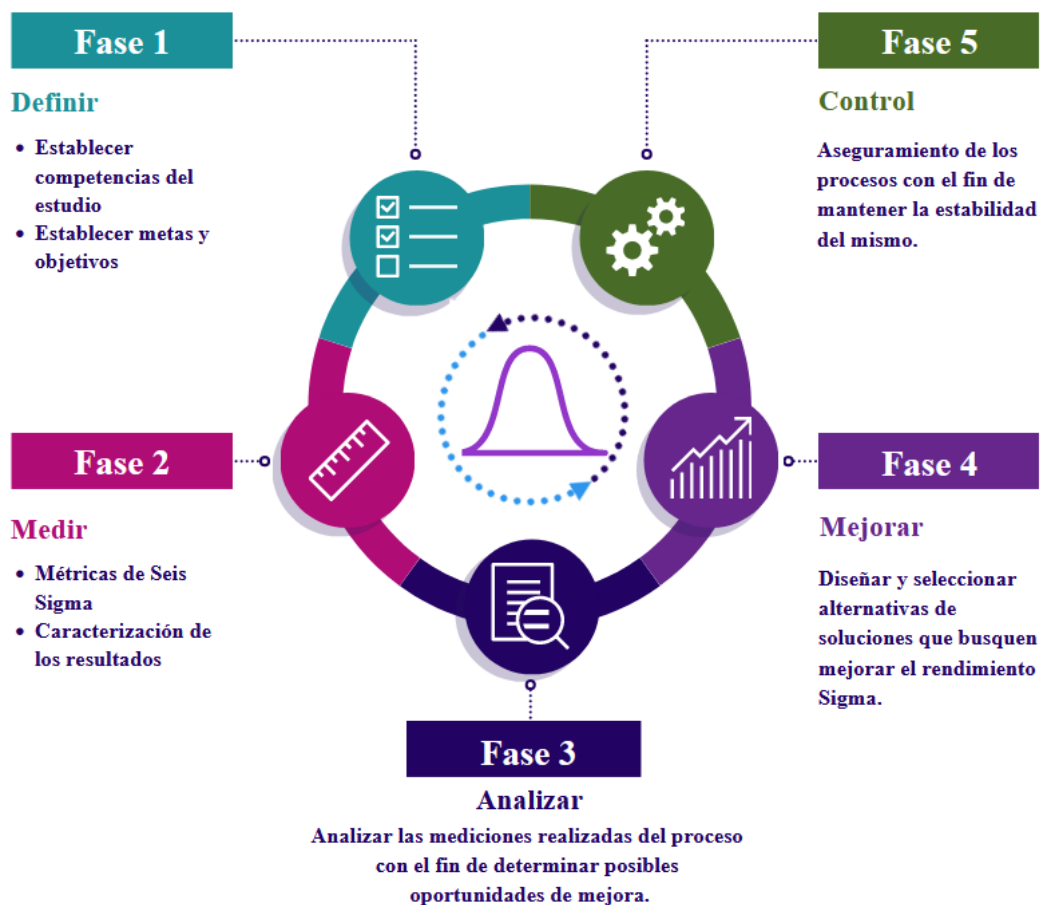
Por otra parte, en el trabajo de Sunder y Antony (2018) se propone un modelo de aplicación del Lean Six Sigma para las instituciones de educación superior, en el que asegura la excelencia de calidad para los proyectos educativos institucionales.

Finalmente, en el estudio de Nadeau (2017) se revisaron los resultados de la aplicación del Seis Sigma (DMAIC) en una institución de pregrado técnico prestigioso en Dubai (UAE) para la mejora del desempeño de los estudiantes en el curso “Introducción a Investigación de Operaciones (IO)”. Finalmente, se evidenció que tras adoptar “La manera Seis Sigma”, el nivel sigma del desempeño académico en IO aumentó de 2,78 a 4,23 en un periodo de un año.

3. Metodología y datos

El desarrollo de esta investigación es de tipo evaluativa y consta de cinco fases (Figura 1).

Figura 1. Metodología de la investigación.



Fuente: Elaboración propia.

La primera fase parte de un análisis racional que permitió establecer las unidades de estudio y sus respectivas métricas, que posteriormente son utilizadas para el desarrollo del trabajo, además, cabe resaltar que en esta primera fase se adapta y contextualiza la metodología Seis Sigma al campo educativo y se establece el nivel de conformidad de las variables del estudio. La segunda fase consiste en la aplicación del cálculo Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), estimación del nivel Sigma (Z) y el valor del rendimiento Yield (Y). La tercera fase corresponde al proceso de analizar las métricas aplicadas en la segunda fase para identificar las características, patrones de comportamientos y oportunidades de mejora del grupo de estudio. La cuarta etapa consiste en el diseño e implementación de planes que busquen aumentar el rendimiento sigma. Y finalmente, la quinta fase busca enmarcar la metodología en el ciclo de mejora continua mediante el aseguramiento de los procesos.

3.1. Descripción de la población

Por otro lado, la base de datos utilizada resumida en la Tabla 1 contiene 12.411 observaciones que corresponden a los resultados de las evaluaciones aplicada a los estudiantes de los programas de ingeniería en Colombia (Delahoz-Domínguez, Zuluaga & Fontalvo-Herrera, 2020). Esos resultados son tomados de las bases de datos publicadas por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES).

Tabla 1. Información de las variables del estudio.

Variable	Nombre Completo	Promedio
RC	Razonamiento Cuantitativo	77,42
LC	Lectura Crítica	62,20
CC	Competencias Ciudadanas	59,19
ING	Inglés	67,50
CE	Comunicación escrita	53,70

Fuente: Tomado de Dataset of academic performance evolution for engineering students (2020).

3.2. Competencias académicas

Al finalizar los estudios académicos de una institución de educación superior, los estudiantes deben realizar una prueba de conocimiento; en el caso de Colombia esta prueba se llama SABERPRO. Esta prueba es realizada por el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES) con el fin de medir la calidad de todas las universidades públicas o privadas, estén acreditadas o no. Por otro lado, la estructura del examen consta de dos partes: la primera evalúa las competencias genéricas de todo profesional y la segunda evalúa las competencias específicas del programa académico al que pertenece un estudiante. Consecuentemente, para el desarrollo de esta investigación se seleccionó el módulo de competencias genéricas (Tabla 2).

Por su parte, los resultados por cada competencia estarán dentro de rangos, que se llaman niveles, estos niveles determinan el nivel de desempeño de un estudiante en una competencia específica (Tabla 3). Cabe resaltar que cuanto más alto sea el puntaje del estudiante, mayor será su nivel y en consecuencia su desempeño.

Tabla 2. Descripción de las competencias.

Competencia	¿Qué se pretende evaluar en la competencia?
Comunicación escrita	Competencia para comunicar ideas por escrito respecto a un tema en específico. En esta prueba se plantea una problemática, con la que el estudiante deberá desarrollar un texto argumentativo.
Razonamiento cuantitativo	Habilidades matemáticas que todo ciudadano debe tener, independientemente de su profesión u oficio, en las competencias de interpretación y representación, argumentación, formulación y ejecución en temas como álgebra, cálculo, geometría y estadística.
Lectura crítica	Habilidades para comprender, interpretar y evaluar textos, entender el significado de palabras frases, relacionar las partes de un texto para darle sentido global, determinar si las razones del autor son o no convincentes e identificar argumentos y supuestos.
Competencias ciudadanas	Conocimiento y habilidades necesarias para comprender el entorno social, sus problemáticas y analizar diversas posturas en situaciones de conflicto, así como competencias en la argumentación, conocimientos, multiperspectivismo y pensamiento sistémico.
Inglés	Competencia comunicativa en lengua inglesa a partir de pruebas de lectura, léxico y gramática.

Fuente: Tomado del repositorio del ICFCES (2020).

Tabla 3. Descripción de los niveles por competencias.

Competencia	Descripción del nivel	Características del nivel
Comunicación escrita	I: Construye un texto legible a partir del uso adecuado de la lengua.	Responde a la pregunta planteada en la tarea (si este aspecto no se cumple, los textos deben ser clasificados como impertinentes).
		Presenta dificultades en el manejo de la convención (sintaxis, escritura de las palabras, segmentación, omisión de letras, etc.) que no permiten la comprensión de sus ideas.
		Expresa ideas desarticuladas entre sí, que no den cuenta de un planteamiento.
	II: Usa apropiadamente la acentuación y reglas de escritura.	Evidencia un planteamiento o posición personal para cumplir una intención comunicativa.
		Incluye argumentos que buscan justificar la posición defendida.
	III: Usa apropiadamente la gramática y reglas de escritura.	Presenta algunas fallas en su estructura y organización, por lo que carecen de unidad semántica.
		Muestra algunas contradicciones o repeticiones que afectan la comprensión del texto.
	IV: Construye un texto a nivel básico de forma concisa.	Presenta algunos errores en el manejo de la convención, que afecta la comunicación de sus ideas.
		Emplea una estructura básica con inicio, un desarrollo y una conclusión.
	V: Emplea estrategias retóricas transversales para apoyar una posición.	Desarrolla argumentos que apoyan la posición planteada.
		Tiene unidad semántica, aunque puede incluir información innecesaria que afecta la fluidez.
	VI: Escribe un texto con cohesión.	Posee buena cohesión local, aunque se identifican algunos errores.
		Muestra diferentes perspectivas sobre el tema que complejizan el planteamiento y permiten cumplir satisfactoriamente con el propósito comunicativo propuesto en la pregunta.
	VII: Compone un texto argumentativo con	Presenta ideas complejas y argumentos que se apoyan en una variedad de estrategias como citas, ejemplos, explicaciones, etc.

	coherencia local y global.	Presenta recursos semánticos, pragmáticos, y estilísticos, entre otros mecanismos cohesivos, que garantizan la coherencia y fluidez del texto.	
	VIII: Defiende correctamente su postura.	Presenta una cohesión adecuada mediante el uso de nexos y conectores. No se omiten palabras, ni se pierden referentes. Usan signos de puntuación, referencias gramaticales, conectores, entre otros mecanismos cohesivos, que garantizan la coherencia y fluidez del texto.	
Razonamiento cuantitativo	I: Comprende y transforma la información cuantitativa y esquemática presentada en distintos formatos.	Da cuenta de las características básicas de la información presentada en diferentes formatos como series, gráficas, tablas y esquemas. Transforma la representación de una o más piezas de información.	
	II: Frente a un problema que involucre información cuantitativa, plantea e implementa estrategias que lleven a soluciones adecuadas.	Diseña planes para la solución de problemas que involucran información cuantitativa o esquemática. Ejecuta un plan de solución para un problema que involucra información cuantitativa o esquemática. Resuelve un problema que involucra información cuantitativa o esquemática.	
	III: Valida procedimientos y estrategias matemáticas utilizadas para dar solución a problemas.	Plantea afirmaciones que sustentan o refutan una interpretación dada a la información disponible en el marco de la solución de un problema. Argumenta a favor o en contra de un procedimiento para resolver un problema a la luz de criterios presentados o establecidos. Establece la validez o pertinencia de una solución propuesta a un problema dado.	
	I: Identifica y entiende los contenidos locales que conforman un texto.	Entiende el significado de los elementos locales que constituyen un texto. Identifica los eventos narrados de manera explícita en un texto (literario, descriptivo, caricatura o cómic) y los personajes involucrados (si los hay).	
		II: Comprende cómo se articulan las partes de un texto para darle un sentido global.	Comprende la estructura formal de un texto en función de sus partes. Identifica y caracteriza las diferentes voces o situaciones presentes en un texto. Comprende las relaciones entre partes o enunciados de un texto. Identifica y caracteriza las ideas o afirmaciones presentes en un texto informativo. Identifica el tipo de relación existente entre diferentes elementos de un texto (discontinuo)
			III: Reflexiona a partir de un texto y evalúa su contenido.
I: Comprende qué es la constitución política de Colombia y sus principios fundamentales.	Conoce las características básicas de la constitución. Reconoce que la Constitución promueve la diversidad étnica y cultural del país, y que es deber del Estado protegerla. Comprende que Colombia es un Estado social de derecho e identifica sus características.		
	II: Conoce los derechos y deberes que la Constitución consagra.	Conoce los derechos fundamentales de los individuos. Reconoce situaciones en las que se protegen o vulneran los derechos sociales, económicos y culturales consagrados en la Constitución.	

		<p>Conoce los derechos colectivos y del ambiente consagrados en la Constitución.</p> <p>Conoce que la Constitución consagra deberes de los ciudadanos.</p>
	III: Conoce la organización del Estado de acuerdo con la Constitución.	<p>Conoce las funciones y alcances de las ramas del poder y de los organismos de control.</p> <p>Conoce los mecanismos que los ciudadanos tienen a su disposición para participar activamente en la democracia y para garantizar el respeto de sus derechos.</p>
	IV: Analiza y evalúa la pertinencia y solidez de enunciados discursos; y reconoce la existencia de diferentes perspectivas en situaciones en donde interactúan diferentes partes.	<p>Devela prejuicios e intenciones en enunciados o argumentos.</p>
		<p>Valora la solidez y pertinencia de enunciados o argumentos.</p>
		<p>En situaciones de interacción, reconoce las posiciones o intereses de las partes presentes y puede identificar un conflicto.</p>
		<p>Reconoce que las cosmovisiones, ideologías y roles sociales, determinan diferentes argumentos, posiciones y conductas.</p>
	V: Analiza las diferentes perspectivas presentes en situaciones en donde interactúan diferentes partes; y comprende que los problemas y soluciones involucran distintas dimensiones y reconoce relaciones entre éstas.	<p>Compara las perspectivas de diferentes actores.</p>
		<p>Establece relaciones entre las perspectivas de los individuos presentes en un conflicto y propuestas de solución.</p>
		<p>Establece que hay entre dimensiones presentes en una situación problemática.</p>
		<p>Analiza los efectos en distintas dimensiones que tendría una solución.</p>
Inglés	I: El estudiante no es capaz de usar el idioma en ninguna situación práctica cotidiana.	<p>El estudiante no supera las preguntas de menor complejidad.</p>
	II: El estudiante es capaz de entender de forma general lecturas básicas, no es capaz de redactar el idioma, entiende las palabras más usuales y puede hacerse entender en situaciones cotidianas.	<p>Es capaz de comprender y utilizar expresiones cotidianas de uso muy frecuente, así como frases sencillas destinadas a satisfacer necesidades de tipo inmediato.</p>
		<p>Puede presentarse él mismo y ante otros, pedir y dar información personal básica sobre su domicilio, sus pertenencias y las personas que conoce.</p>
		<p>Puede relacionarse de forma elemental siempre que su interlocutor hable despacio y con claridad y esté dispuesto a cooperar.</p>
	III: El estudiante puede leer un texto con baja complejidad, necesita poca ayuda para redactar textos de baja complejidad, conoce el tema de una conversación si se habla despacio.	<p>El estudiante es capaz de comprender frases y expresiones de uso frecuente relacionadas con áreas de experiencia especialmente relevantes (información básica sobre él mismo y su familia, compras, lugares de interés, ocupaciones, etc.).</p>
		<p>Sabe comunicarse a la hora de llevar a cabo tareas simples y cotidianas que no requieran más que intercambios sencillos y directos de información sobre cuestiones conocidas o habituales.</p>
		<p>Sabe describir en términos sencillos aspectos de su pasado y su entorno, así como cuestiones relacionadas con sus necesidades inmediatas.</p>
	IV: Lee textos sin dificultades importantes, redacta textos de mediana dificultad, puede entender reuniones de rutina, puede contribuir	<p>El estudiante es capaz de comprender los puntos principales de textos claros y en lengua estándar, si tratan cuestiones conocidas, ya sea en situaciones de trabajo, de estudio o de ocio</p>
		<p>Sabe desenvolverse en la mayoría de las situaciones que pueden surgir durante un viaje por zonas donde se utiliza la lengua.</p>
		<p>Es capaz de producir textos sencillos y coherentes sobre temas que le son familiares o en los que tiene un interés personal.</p>

	a reuniones y no puede realizar negociaciones.	Puede describir experiencias, acontecimientos, deseos y aspiraciones, así como justificar brevemente sus opiniones o explicar sus planes
	V: Puede leer y entender textos completamente, redacta correctamente escritos, puede argumentar fácilmente.	El estudiante es capaz de entender las ideas principales de textos complejos que traten de temas concretos abstractos, incluso si son de carácter técnico, siempre que estén dentro de su especialización
		Puede relacionarse con hablantes nativos con un grado suficiente de fluidez y naturalidad, de modo que la comunicación se realice sin esfuerzo por ninguno de los interlocutores.
		Puede producir textos claros y detallados en torno a temas diversos, así como defender un punto de vista sobre temas generales indicando los pros y los contras de las distintas opciones.

Fuente: Tomado de los repositorios del ICFES (2020)

3.3. Actores del estudio

Si bien dentro de este estudio se ha establecido que los actores principales son el conjunto de universidades que realizaron la prueba SABERPRO, es necesario establecer cómo podemos convertir esos resultados obtenidos de la base datos a los insumos para la evaluación de la calidad educativa. Por tanto, es necesario determinar las dimensiones de calidad para este servicio educativo, por lo que para este estudio se propusieron como dimensiones, cada competencia evaluada en la prueba SABERPRO: Racionamiento Cuantitativo (RC), Lectura Crítica (LC), Competencias Ciudadanas (CC), Comunicación escrita (CE) e inglés (ING). Por otra parte, se realizó un análisis exploratorio de los datos donde se buscó el menor y mayor resultado promedio obtenido en cada competencia, luego se halló la amplitud para cada nivel de desempeño existente, lo que se evidencia en la columna Ancho de nivel en la Tabla 4, donde finalmente, se establecieron los niveles conformes y no conformes que permitirían establecer las oportunidades de error más adelante para el cálculo de las métricas Seis Sigma. Cabe resaltar que para establecer los niveles de conformidad y no conformidad, se tomó la información provista en la guía de orientación de las pruebas SABERPRO del ICFES (Icfes, 2019).

Tabla 4. Información de la configuración de los niveles de las competencias.

Competencia	Promedio menor	Promedio mayor	Ancho de nivel	Número de niveles	Niveles no conformes	Niveles conformes
RC	20,67	95,29	33,33	3	I, II	III
ING	20,00	93,19	20	5	I, II, III	IV, V
LC	25,13	85,48	33,33	3	I, II	III
CC	17,63	85,00	20	5	I, II, III	IV, V
CE	12,33	92,00	12,5	8	I, II, III, IV, V	VI, VII, VII

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se muestra para cada competencia el menor y mayor puntaje promedio en las pruebas SABERPRO, también posee el ancho de cada nivel, la cantidad de niveles conformes, la cantidad de niveles no conformes y, finalmente, el número de niveles. Por ejemplo, en la competencia de razonamiento cuantitativo (RC), el menor puntaje promedio que posee una universidad es 20,67, en contraste, el mayor puntaje promedio que posee una universidad es 95,29; por otro lado, para esta misma competencia el ancho de cada nivel es 33,33 y posee 3 niveles, es decir, el primer nivel (I) va desde 0 hasta 33,33, el segundo nivel (II) va desde 33,33 hasta 66,66 y, finalmente, el tercer nivel (III) va desde

66,66 hasta 100. Ya estipulado los niveles no conformes para cada dimensión de la calidad evaluativa, se procede a realizar la aplicación de las métricas del Seis Sigma.

4. Resultados

Tras definir la metodología, el paso a paso que se debe seguir y el grupo de estudio, se articulan los conceptos inherentes al modelo con el objetivo de la investigación. Para lo anterior, se contextualizan dichos conceptos relacionando cada métrica de evaluación del modelo Seis Sigma con el contexto educativo (Tabla 6). Previamente, se definen los criterios para la evaluación del desempeño del servicio de calidad en esta investigación (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción del desempeño con relación al Nivel Sigma y Yield para las dimensiones a evaluar.

Desempeño	Nivel Sigma	Yield
Deficiente	$Z < 2$	$Y < 69,1\%$
Aceptable	$2 \leq Z \leq 3$	$69,1\% \leq Y \leq 93,3\%$
Bueno	$3 \leq Z \leq 4$	$93,3\% \leq Y \leq 99,4\%$
Excelente	$Z > 4$	$Y \geq 99,4\%$

Fuente: Adaptado de Evaluación de la calidad del servicio por medio de Seis Sigma en un centro de atención documental en una universidad (Delahoz-Domínguez, Fontalvo & Fontalvo, 2020).

Por otro lado, en las de las métricas de Seis Sigma (Tabla 6), se encuentran cinco conceptos asociados a las métricas (Schroeder et al., 2008): U, O, Y, n y DPMO. Así, el parámetro U corresponde a la población total del estudio, en el contexto de la investigación son el total de universidades. El parámetro O está asociado a las oportunidades de error encontradas en las competencias evaluadas en la prueba SABERPRO, esto indica las veces que un estudiante puede fallar; en el caso de este trabajo esta oportunidad de error depende de los niveles que son establecidos como no conformes (Tabla 4). Por su parte, el parámetro n corresponde al total de universidades del estudio que son no conformes. Para el desempeño de la universidad (Y), enmarcado en un rango de 0% y 100%, se toma como referencias los valores establecidos en la Tabla 5. Finalmente, los Defectos Por Millón de Oportunidades (DPMO) son el número de defectos observados extrapolados a cada millón de oportunidades de defectos (Felizzola & Luna, 2014).

Tabla 6. Relación cuantitativa de los diferentes conceptos del Seis Sigma en las variables del estudio.

Métricas	Definición en el estudio
U	Universidades evaluadas (Pruebas evaluadas)
O	Oportunidad de error
n	Resultados insatisfactorios (Para cada competencia)
Y	Desempeño de las Universidades Evaluadas
DPMO	Métrica de defectos por millón de oportunidades

Fuente: Adaptado de Evaluación de la calidad del servicio por medio de Seis Sigma en un centro de atención documental en una universidad (Delahoz-Domínguez, Fontalvo & Fontalvo, 2020).

Consecuentemente, en las siguientes tablas se evidencia la aplicación de las métricas Seis Sigma y sus respectivos resultados. Como se ha explicado previamente, las dimensiones a evaluar en este estudio son las competencias evaluadas en las pruebas SABERPRO; dichas competencias genéricas son el insumo para la evaluación de la calidad de la eficiencia educativa en las instituciones de educación superior. Ahora bien, en la Tabla 7 se observan las métricas n, U y O para cada dimensión. Para el Razonamiento Cuantitativo (RC) se obtuvieron 50 resultados insatisfactorios, lo que indica que, en el total de resultados de las 128 universidades el 39,06% se encontraban dentro de los dos niveles no conformes en las oportunidades de error para esta dimensión. Por otra parte, para la dimensión de Lectura Crítica (LC) se obtuvieron 100 resultados insatisfactorios, representando que el 78,12% de las universidades tuvieron resultados no conformes. En la competencia de inglés (ING), se obtuvieron 69 resultados insatisfactorios, indicando que un 53,90% de universidades tuvieron resultados no conformes. Para la dimensión de Comunicación Escrita (CE) el 79,68% de las universidades tuvieron resultados no conformes. Para la dimensión de Competencias Ciudadanas (CC) se evidenciaron 91 resultados insatisfactorios, representando un 71,09% de universidades referenciadas en los tres niveles no conformes inherentes a las oportunidades de error para esta dimensión.

Tabla 7. Resultado de la evaluación cuantitativa al servicio educativo por parte de la universidad por medio de las competencias evaluadas en las pruebas Saber PRO.

Dimensión Evaluada	Resultados Insatisfactorios (n)	Universidades evaluadas (U)	Oportunidad de Error (O)
RC	50	128	2
LC	100	128	2
ING	69	128	3
CE	102	128	3
CC	91	128	3

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, tras obtener los resultados de la evaluación cuantitativa del servicio educativo por parte de todas las universidades en el marco de las competencias de la prueba SABERPRO, en la Tabla 8 se evidencia la estimación objetiva del desempeño académico las instituciones según las métricas Seis Sigma. Para la dimensión Razonamiento cuantitativo (RC) se evidencia un nivel Sigma (Z)= 2,35 y un Yield (Y)=80,47%, los cuales dentro de los criterios de evaluación establecidos en la Tabla 5 la clasifican como Aceptable. Para la dimensión de Lectura Crítica (LC) se evidencia un nivel Sigma Z=1,77 y un Yield Y=60,94%, estableciéndose en la categoría Deficiente. Para la dimensión de Inglés (ING) se evidencia un nivel Sigma Z=2,41 y un Yield Y=82,04%, estableciéndose en la categoría Aceptable. Por otra parte, para la dimensión Competencias Ciudadanas (CC) se evidencia un nivel Sigma Z=2,21 y un Yield Y=76,30%, representando un desempeño Aceptable. Finalmente, para la competencia Comunicación Escrita (CE) se evidencia un nivel Sigma Z=2,12 y un Yield= 73,44%, lo cual clasifica como Aceptable.

En general, el Yield promedio de las competencias básicas evaluadas en las pruebas SABERPRO aplicadas a las instituciones de educación fue de 74,64%, lo que dentro de los criterios establecidos en la Tabla 5 es considerado como Aceptable. Consecuentemente, es importante resaltar que la competencia Lectura Crítica, es la competencia con el más bajo desempeño del conjunto competencias evaluadas en las universidades, por lo tanto, los planes de mejora resultantes del Seis Sigma deben incorporar estrategias dirigidas a reducir la brecha en esta competencia, generando oportunidades para mejorar el desempeño global de las instituciones evaluadas.

Tabla 8. Resultados de la aplicación de las métricas Seis Sigma a las dimensiones evaluadas en este estudio.

Métricas Seis Sigma para las dimensiones					
Métricas	RC	LC	ING	CC	CE
DPMO	195312,5	390625	179687,5	236979,17	265625
Nivel sigma Z	2,3585	1,7777	2,4166	2,2161	2,1261
Yield	0,8047	0,6094	0,8204	0,7630	0,7344
Yield Promedio	0,7464				

Fuente: Elaboración propia.

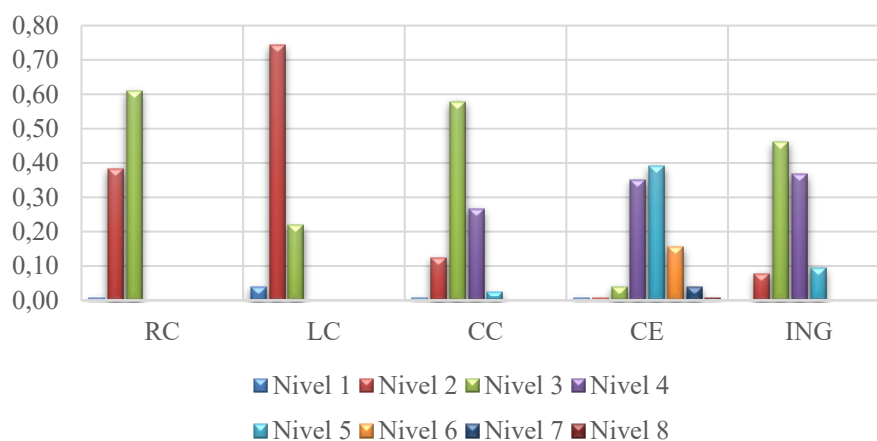
4.1. Análisis específicos

En consecuencia, además de la evaluación realizada en este trabajo, es pertinente analizar el contexto de los resultados del estudio, lo que permite relacionar los niveles de desempeño con las características particulares de las universidades. Como se ha establecido desde el inicio, nuestro objeto de estudio son las universidades evaluadas en las pruebas SABERPRO, por lo que las estadísticas presentadas a continuación son todas en relación las universidades y sus respectivos resultados.

En la Figura 2 se encuentra en el eje horizontal todos los niveles desempeño para cada competencia evaluada y en el eje vertical el porcentaje correspondiente de las universidades que se encuentran en dichos niveles para cada competencia. Por lo tanto, se puede observar que:

- Aproximadamente el 61% de las universidades son conformes y el 39% son no conformes de acuerdo con el nivel presentado en la Tabla 4 para la competencia de Razonamiento Cuantitativo (RC).
- La competencia de Lectura Critica (LC) tiene dentro del grupo de conformes el 22% y el 78% corresponden a los no conformes.
- Competencias Ciudadanas (CC) posee en su grupo de conformes aproximadamente del 29% y en el grupo de no conformes el 71%.
- La competencia de Comunicación Escrita (CE) en su grupo de conformes tiene el 21% del total de las universidades y el 79% de las universidades para esta competencia son no conformes.
- La competencia de Inglés (ING) tiene 46% de universidades conformes y 54% de universidades no conformes.

Figura 2. Distribución de la población del estudio.

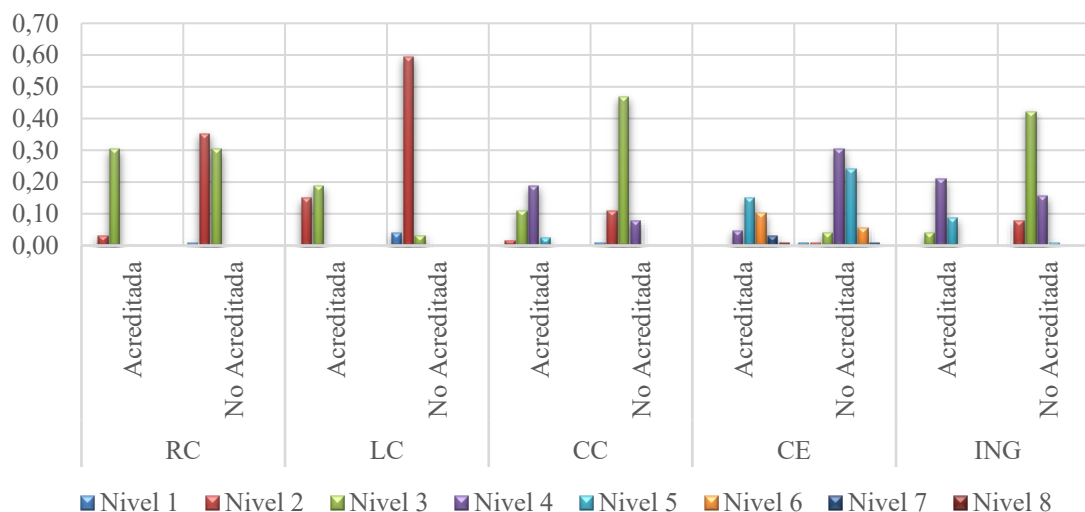


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, en la Figura 3 se relacionan los niveles de desempeño en el examen SABERPRO con la posesión de una certificación de calidad. Cada competencia se divide en dos grupos: universidades acreditadas (34% del estudio) y no acreditadas (66% del estudio) y a su vez estos grupos se subdividen en conformes y no conformes. Consecuentemente, se procede a describir por competencias académicas la distribución en los grupos que se van a categorizar como: universidad acreditada y no-conforme, universidad acreditada y conforme, universidad no-acreditada y conforme y, por último, universidad no-acreditada y no-conforme.

- Para la competencia Razonamiento Cuantitativo las universidades acreditadas se dividen en 9% no conformes y 91% conformes; en contraste, las universidades no-acreditadas se distribuyen en 54% no conformes y 46% conformes.
- Para la competencia de lectura crítica las universidades acreditadas se distribuyen en 44% no conformes y 56% conformes; por su parte, las universidades no acreditadas se dividen en 95% no conformes y 5% conformes.
- Las universidades acreditadas para Competencias Ciudadanas se dividen en 37% no conformes y 63% conformes; por otro lado, las universidades no acreditadas se dividen en 88% no conformes y 12% conformes.
- En el caso de las universidades acreditadas para la competencia de Comunicación Escrita se dividen en 58% no conformes y 42% conformes; en cuanto a las universidades no acreditadas, el 91% corresponde a no conformes y el 9% corresponde a conformes.
- Para la competencia de Inglés, las universidades acreditadas se dividen en 12% no conformes y 88% conformes; en contraste, las universidades no acreditadas se dividen en 75% no conformes y 25% conformes.

Figura 3. Proporción de acreditación de las universidades en el estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Consecuentemente, complementando el análisis de la Figura 3, se presenta la Tabla 9 que contiene los promedios por cada competencia para el total de universidades acreditadas y no acreditadas. Como se puede observar, los promedios más altos los poseen las universidades acreditadas en todas las competencias, siendo Razonamiento Cuantitativo e Inglés aquellas competencias que tienen mayor promedio en el grupo de universidades acreditadas; en el caso de las universidades no acreditadas aparecen estas mismas competencias.

Tabla 9. Promedio de las competencias por acreditación.

Valores	Acreditada	No Acreditada
RC	81,83	65,26
LC	67,02	48,98
ING	72,40	53,16
CE	61,42	49,39
CC	63,54	47,58

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las competencias con menor promedio en el grupo de universidades acreditadas son Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas; en el caso del grupo de universidades no acreditadas los desempeños más bajos corresponden a las competencias de Lectura Crítica y nuevamente Competencias Ciudadanas.

En la Tabla 10 se evidencian los promedios de las competencias por grupos conformes y no conforme del total de universidades del estudio. En el grupo de universidades conformes las competencias de Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica son las que tienen mayor promedio; en el caso de las universidades del grupo no conforme aparecen nuevamente las competencias Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica. Por su parte, en cuanto a los desempeños más bajos dentro del grupo conforme se encuentra las competencias de Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas; por su parte, en el grupo de no conformes las competencias con menor desempeño corresponden a Competencias Ciudadanas e Inglés.

Tabla 10. Promedio de las competencias por conformidad.

Valores	Conforme	No conforme
RC	79,43	57,41
LC	74,65	49,55
ING	72,68	48,46
CE	69,83	49,25
CC	69,66	46,15

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se obtuvieron los promedios por cada competencia considerando la categoría de acreditación de la universidad y nivel de conformidad. En la Tabla 11 se evidencia cómo las competencias con mayores puntajes son Razonamiento Cuantitativo y Lectura crítica; en contraste, las competencias con menor desempeño son Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas. Por su parte, las universidades categorizadas como acreditadas y no conformes, presentan los mayores resultados promedios en las competencias Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica, y los más bajos para Inglés y Competencias Ciudadanas. Por otro lado, las universidades categorizadas como no acreditadas y conformes muestran que los mayores promedios los poseen las competencias de Razonamiento Cuantitativo y Lectura Crítica; por el contrario, las puntuaciones más bajas pertenecen a las competencias de Comunicación Escrita y Competencias Ciudadanas. Finalmente, en las universidades categorizadas como no acreditadas y no conformes, los promedios más altos son de las competencias Razonamiento Cuantitativo e Inglés; en contraste, los desempeños más bajos los poseen Competencias Ciudadanas y Comunicación Escrita.

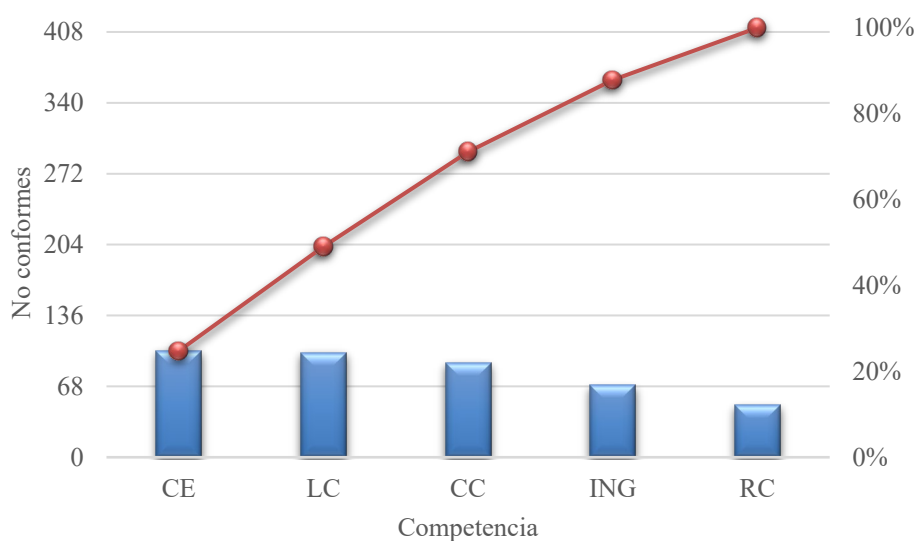
Tabla 11. Promedio de las competencias por conformidad y acreditación.

Competencia	Conformidad	Acreditada	No Acreditada
RC	Conforme	83,95	74,90
	No Conforme	61,11	57,09
LC	Conforme	75,08	72,03
	No Conforme	56,84	47,84
ING	Conforme	74,87	68,73
	No Conforme	53,61	48,06
CE	Conforme	70,54	68,23
	No Conforme	54,86	47,43
CC	Conforme	70,54	67,27
	No Conforme	51,72	44,96

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta un análisis en el diagrama de Pareto (Figura 4). Este diagrama es una de las siete herramientas fundamentales de calidad usada para categorizar elementos de manera descendente dada su frecuencia. Su funcionalidad permite identificar aspectos críticos los cuales al aplicarle procesos de mejoramiento impactarán más en los resultados globales. En la Figura 4 se evidencia que el 71% de los resultados no conformes están concentrados en las tres primeras competencias que son Comunicación Escrita (CE), Lectura Crítica (LC) y Competencias Ciudadanas (CC). Por lo tanto, eso indica que los esfuerzos por mejorar los resultados de las evaluaciones de SABERPRO y consecuentemente la eficiencia de las instituciones de educación superior, deben estar enfocados al refuerzo de estas tres competencias.

Figura 4. Análisis de causas mediante el diagrama de Pareto.



Fuente: Elaboración propia.

5. Discusión

El aporte significativo de esta investigación es la evaluación de la calidad educativa con la herramienta Seis Sigma. Esta herramienta ha sido utilizada extensivamente en el sector industrial y de manufactura, y además últimamente se evidencian implementaciones en el sector financiero. Por lo tanto, existe un gran potencial para su desarrollo en el sector de la educación, por lo que en esta investigación presenta una estructura ordenada y secuencial para estimar el desempeño de organizaciones educativas bajo la metodología Seis Sigma. Así mismo, se resalta en esta investigación el hecho de evaluar la calidad educativa utilizando la información objetiva correspondiente a los resultados de las pruebas estandarizadas (SABERPRO), que son utilizadas para monitorear los niveles de calidad y la solidez de las bases de conocimiento de los futuros profesionales en Colombia, a través de las competencias académicas genéricas (competencias utilizadas en este estudio como dimensiones de calidad).

Para la aplicación del enfoque Seis Sigma propuesto en la educación se utilizaron datos específicos de los estudios de ingeniería. Sin embargo, la estructura propuesta es replicable y reproducible a cualquier proceso educativo en los que se genere evidencia objetiva del desempeño académico longitudinal a través de exámenes estandarizados. Por lo tanto, la estructura propuesta se plantea como una alternativa para evaluar, monitorear y caracterizar instituciones y sistemas educativos en general.

Por otra parte, en la investigación realizada por Antony et al. (2012) se expone la importancia de la aplicación de la metodología Seis Sigma para la mejora de la eficiencia y efectividad en las universidades, resaltando los retos y barreras que hay detrás de la implementación de esta metodología en el sector de las instituciones de educación superior.

En la investigación desarrollada por Antony (2014) se revelan los aspectos de preparación para la introducción y desarrollo exitoso de la herramienta Seis Sigma e incluso Lean Seis Sigma dentro del contexto de las instituciones de educación superior. Sin embargo, este autor recomienda que es importante comenzar con esta iniciativa afrontando los problemas en los procesos administrativos existentes antes de pasar a realizar la inversión a grandes proyectos de orientación estratégica para la institución. Por lo tanto, la estructura propuesta en la presente investigación es una aproximación global para sensibilizar a las universidades en las técnicas de mejoramiento y medición objetiva que aporta Seis Sigma como herramienta organizacional.

En un enfoque similar al de la presente investigación, en el trabajo de Navas et al. (2016) se demuestra que es pertinente la aplicación del Seis Sigma en la evaluación del desempeño académico de las universidades consideradas en su estudio. Navas aplica la metodología DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), donde finalmente propone agrupar a los estudiantes por su desempeño académico para aumentar el porcentaje de aprobados en la educación de ingeniería, eliminando las causas de fallas. En este orden de ideas, los resultados obtenidos por nuestra investigación también permitirán perfilar los estudiantes según su desempeño, además de proporcionar las métricas estandarizadas para monitorear su desempeño futuro.

En el estudio de Bumjaid y Malik (2019) se resaltan los modelos que pueden ser utilizados para la mejora de la calidad en las instituciones de educación superior aplicando los conceptos del Seis Sigma. Los principios de este último permiten perfilar a una institución de educación superior al cumplimiento de la misión e incluso acercarse a las acreditaciones de calidad por medio de la reducción de no conformidades y la mejora de sus procesos. Así, nuestra investigación soporta el criterio de identificación de conformidades, generando una estructura estandarizada para caracterizar el proceso educativo en función de categorías de conformidad según el desempeño académico de los estudiantes.

Por otra parte, en el estudio de Ramanan y Kumar (2013) se resalta la efectividad de la herramienta Seis Sigma para el aumento del desempeño en las organizaciones. Sin embargo, en el contexto educativo, el cliente y el producto son fenómenos complejos para describir a diferencia de una industria habitual. La cuestión con la educación superior es que no solo afecta a los proveedores sino

también a la sociedad a largo plazo, por lo que en su estudio se propone utilizar la metodología DMAIC para impactar la calidad de la educación en ingeniería a un nivel micro de la institución aprovechando el éxito de su aplicación en problemas complejos en diferentes industrias. Contrario a esta investigación, el enfoque Seis Sigma utilizado por nosotros está diseñado para la estimación macro del desempeño de los sistemas educativos; sin embargo, los resultados permiten adoptar decisiones comparativas para implementar mejores prácticas de otras instituciones exitosas.

6. Conclusión

En el presente estudio se evidencia la relevancia de implementar un enfoque de mejora basado en Seis Sigma para articular conceptos de calidad educativa mediante métricas objetivas y estandarizadas. La propuesta evalúa el rendimiento de las universidades a través del análisis exhaustivo de los datos generados en los exámenes estandarizados de los estudiantes al finalizar su etapa de educación universitaria.

La implementación de la metodología usando los resultados de las evaluaciones de los programas de ingeniería en Colombia, permitió establecer las métricas Seis Sigma globales del sistema, con un nivel Sigma de 2,17 y un Rendimiento (Y) del 75%. Adicionalmente, la investigación permite realizar un análisis comparativo a nivel general de referencias (benchmarking), porque cada universidad puede saber sobre cuáles competencias debe dirigir sus esfuerzos para alcanzar el nivel de otra. También, es posible observar cómo impacta sobre el nivel Sigma algunas características o atributos de la universidad como la acreditación, certificaciones, investigación, entre otras. Cabe resaltar que en esta investigación se realiza el análisis de la acreditación institucional, lo que deja como evidencia que la acreditación es un factor crucial para aumentar el desempeño individual de los estudiantes y consecuentemente, el desempeño de las instituciones de educación superior.

Ahora bien, desde el punto de vista estratégico, la investigación ofrece una visión global del desempeño de las instituciones que componen a un sistema educativo. Además, permite la comparación objetiva de instituciones a través de las métricas estandarizadas del nivel Sigma (Z), Rendimiento (Y) y Defecto por Millón de Oportunidades. Finalmente, como aporte significativo de la investigación se conceptualizan las dimensiones de calidad en relación con las competencias académicas que un estudiante debe desarrollar al finalizar su educación como ingeniero, lo que en esencia permite la valoración cuantitativa y objetiva de los programas universitarios estudiados.

Referencias

- Antony, J. (2014). Readiness factors for the Lean Six Sigma journey in the higher education sector. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(2), 257-264. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-04-2013-0077>
- Antony, J., Krishan, N., Cullen, D., & Kumar, M. (2012). Lean Six Sigma for higher education institutions (HEIs): Challenges, barriers, success factors, tools/techniques. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 61(8), 940-948. <https://doi.org/10.1108/17410401211277165>
- Bumjaid, S.E., & Malik, H.A.M. (2019). *The Effect of Implementing of Six Sigma Approach in Improving the Quality of Higher Education Institutions in Bahrain* (SSRN Scholarly Paper ID 3540883). Social Science Research Network. <https://papers.ssrn.com/abstract=3540883>
- Delahoz-Domínguez, E., Guillen-Ibarra, S., & Fontalvo-Herrera, T. (2020). Análisis de la acreditación de calidad en programas de ingeniería industrial y los resultados en las pruebas nacionales

- estandarizadas, en Colombia. *Formación universitaria*, 13(1), 127-134. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000100127>
- Delahoz-Domínguez, E.J., Fontalvo, T.J., & Fontalvo, O.M. (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>
- Delahoz-Domínguez, E., Zuluaga, R., & Fontalvo-Herrera, T. (2020). Dataset of academic performance evolution for engineering students. *Data in Brief*, 30, 105537. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105537>
- Felizzola, H., & Luna, C. (2014). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: Un enfoque metodológico. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 22(2), 263-277. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052014000200012>
- Gamal, 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>
- Hien, N.M. (2014). *A Study on Evaluation of E-Government Service Quality*, 8(1), 4, 16-19.
- Hsieh, Y.-J., Huang, L.-Y., & Wang, C.-T. (2012). A framework for the selection of Six Sigma projects in services: Case studies of banking and health care services in Taiwan. *Service Business*, 6(2), 243-264. <https://doi.org/10.1007/s11628-012-0134-1>
- ICFES (2019). *Guía de orientación módulos de competencias genericas saber-pro 2019*. ICFES. <https://www.icfes.gov.co/documents/20143/1518930>
- ICFES (2020). *Bases de datos-Portal Icfes*. Bases de datos, Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación - ICFES. <https://www.icfes.gov.co/web/guest/investigadores-y-estudiantes-posgrado/acceso-a-bases-de-datos#Acceso%20a%20bases%20de%20datos%20y%20diccionarios>
- Ishak, A., Siregar, K., Asfiryati, & Naibaho, H. (2019). Quality Control with Six Sigma DMAIC and Grey Failure Mode Effect Anaysis (FMEA): A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505, 012057. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012057>
- Lee, H., & Kim, C. (2014). Benchmarking of service quality with data envelopment analysis. *Expert Systems with Applications*, 41(8), 3761-3768. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.12.008>
- LeMahieu, P.G., Nordstrum, L.E., & Cudney, E.A. (2017). Six Sigma in education. *Quality Assurance in Education*, 25(1), 91-108. <https://doi.org/10.1108/QAE-12-2016-0082>
- Lima, P.N.D., Dresch, A., & Lacerda, D.P. (2019). Do socio-economic contextual factors influence SMEs' service quality A cross-sector and cross-city SERVPERF analysis. *International Journal of Business Performance Management*, 20(3), 195-211. <https://doi.org/10.1504/IJBPM.2019.101998>
- Lu, J., Laux, C., & Antony, J. (2017). Lean Six Sigma leadership in higher education institutions. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 66(5), 638-650. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-09-2016-0195>
- Maguad, B. A., & Krone, R. M. (2012). *Managing for Quality in Higher Education*. Bookboon.
- Nadeau, S. (2017). *Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma in Higher Education: A Review of Experiences around the World*, 13, 591-603. <https://doi.org/10.4236/aji>

- Navas, R.K.B., Akash, R.P., Sathish, G., & Azharudeen, J.M. (2016). Six Sigma in Education: Examination Result Analysis Using Six Sigma - A Case Study. *2016 IEEE 4th International Conference on MOOCs, Innovation and Technology in Education (MITE)*, 245-250. <https://doi.org/10.1109/MITE.2016.056>
- Pineda, P., & Celis, J. (2017). ¿Hacia la universidad corporativa? Reformas basadas en el mercado e isomorfismo institucional en Colombia. *Education Policy Analysis Archives*, 25, 71. <https://doi.org/10.14507/epaa.25.2837>
- Ramanan, L., & Kumar, D.M. (2013). SIX SIGMA - DMAIC Framework for Enhancing Quality in Engineering Educational Institutions. *Six Sigma*, 3(1), 36-40.
- Schroeder, R.G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A.S. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory*. *Journal of Operations Management*, 26(4), 536-554. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.007>
- Shokri, A. (2014). Six Sigma in Supply Chain. En U. Ramanathan & R. Ramanathan (Eds.), *Supply Chain Strategies, Issues and Models* (pp. 63-98). Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5352-8_4
- Song, H.G., & Lim, S.U. (2015). Assessing pet industry in Korea using service quality improvement gap model. *International Journal of Technology, Policy and Management*, 15(1), 2-20. <https://doi.org/10.1504/IJTPM.2015.067791>
- Subbarayalu, A.V., & Al Kuwaiti, A. (2017). Development of a six sigma rating scale for measuring the quality of work life of teaching staff working in Saudi Universities. *International Journal for Quality Research*, 11(2), 397-418. <https://doi.org/10.18421/IJQR11.02-10>
- Suman, G., & Prajapati, D.R. (2018). Statistical analysis of the researches carried out on Lean and Six Sigma applications in healthcare industry. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.1504/IJQET.2018.094667>
- Sunder M.V., & Antony, J. (2018). A conceptual Lean Six Sigma framework for quality excellence in higher education institutions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35(4), 857-874. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2017-0002>
- Surange, V.G. (2015). Implementation of Six Sigma to Reduce Cost of Quality: A Case Study of Automobile Sector. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 15(2), 282-294. <https://doi.org/10.1007/s11668-015-9927-6>
- Suresh, K.M., Asokan, P., & Vinodh, S. (2016). Application of design for Six Sigma methodology to an automotive component. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 10(1), 1-23. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2016.080446>
- Svensson, C., Antony, J., Ba-Essa, M., Bakhsh, M., & Albliwi, S. (2015). A Lean Six Sigma program in higher education. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 32(9), 951-969. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2014-0141>
- Torres, M., & Vásquez, C.L. (2018). Modelos de evaluación de la calidad del servicio: caracterización y análisis. *Revista Científica Compendium*, 18(35), 57-76.
- Visbal-Cadavid, D.A., Martínez-Gómez, M., & Escorcia-Caballero, R. (2020). Exploring University Performance through Multiple Factor Analysis: A Case Study. *Sustainability*, 12(3), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su12030924>

Zambrano, N., & Alá, A. (2014). *Implementación de la metodología seis sigma para el mejoramiento continuo del proceso de venta de servicios tecnológicos y comunicacionales en Ecuadortelem S.A.* <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6863>

Zare, Y. (2011). Six-Sigma: Methodology, tools and its future. *Assembly Automation*, 31(1), 79-88. <https://doi.org/10.1108/01445151111104209>