



MAR CARIBE

EDITORIAL

Libro de investigación
**Métodos Estadísticos para
el Control de la Calidad y
la Productividad**

Autores:

Ulises Octavio Irigoin Cabrera
Julio Oswaldo Goicochea Espino
Erlin Guillermo Cabanillas Oliva
Victor Sánchez Cáceres
Gregorio Rodolfo Heredia Quezada
Keuson Saldaña Ferreyra

Depósito Legal Nro.: 202312115

ISBN: 978-612-5124-25-8



9 786125 124258

Métodos estadísticos para el control de la calidad y la productividad

Ulises Octavio Irigoin Cabrera, Julio Oswaldo Goicochea Espino, Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Victor Sánchez Cáceres, Gregorio Rodolfo Heredia Quezada, Keuson Saldaña Ferreyra

© Ulises Octavio Irigoin Cabrera, Julio Oswaldo Goicochea Espino, Erlin Guillermo Cabanillas Oliva, Victor Sánchez Cáceres, Gregorio Rodolfo Heredia Quezada, Keuson Saldaña Ferreyra, 2023

Jefe de arte: Yelitza Sánchez

Diseño de cubierta: Yelitza Sánchez

Ilustraciones: Ysaelen Odor

Editado por: Editorial Mar Caribe de Josefrank Pernaleté Lugo

Jr. Leoncio Prado, 1355 – Magdalena del Mar, Lima-Perú. RUC: 15605646601

Libro electrónico disponible en http://editorialmarcaribe.es/?page_id=2001

Primera edición – diciembre 2023

Formato: electrónico

ISBN: 978-612-5124-25-8

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N°: 202312115

Métodos estadísticos para el control de la calidad y la productividad

Ulises Octavio Irigoin Cabrera
Julio Oswaldo Goicochea Espino
Erlin Guillermo Cabanillas Oliva
Victor Sánchez Cáceres
Gregorio Rodolfo Heredia Quezada
Keuson Saldaña Ferreyra

Perú, 2023

Tabla de Contenido

Introducción	5
Capítulo 1	9
Control de Calidad	9
El triángulo de calidad	11
Espiral de calidad	12
El control evolutivo.....	13
Edwards W. Deming.....	14
Calidad	18
La Variabilidad: pensamiento estadístico	24
La estadística descriptiva	28
La aplicación del control estadístico	40
Capítulo 2.....	47
Control de Procesos	47
El control estadístico de los procesos.....	47
Procesos en la gestión de calidad	67
Mejora y el desarrollo de procesos.....	89
Capítulo 3.....	103
Productividad	103
Definición y medición de la productividad	103
La estimación de la eficiencia: datos panel.....	107
Los modelos de eficiencia técnica variante en el tiempo	115
La estimación de la eficiencia y productividad con métodos no paramétricos.....	117
Reflexiones finales.....	126
Bibliografía	127

Introducción

La definición de calidad varía según la industria o negocio en el que uno participa. En el ámbito de la producción, la calidad se puede definir como el grado en que un producto se alinea con las especificaciones deseadas en términos de sus atributos y cumple con las expectativas del cliente. Como resultado de su naturaleza subjetiva, muchas empresas tienden a pasar por alto la importancia de gestionar sus procesos, asumiendo que no pueden controlar todos los factores que impactan la calidad. Sin embargo, esta suposición es incorrecta ya que una gestión eficaz de los procesos es esencial para garantizar resultados de alta calidad.

Existen numerosos elementos que juegan un papel en los procesos de producción, y todos ellos pueden examinarse y rastrearse para mejorar constantemente los procesos. Esto incluye todo, desde el equipo que se utiliza hasta el seguimiento de los programas de software e incluso la eficacia de los trabajadores involucrados.

Por lo tanto, es importante señalar que la gestión de la calidad abarca más que simplemente el aseguramiento de la calidad. También implica garantizar que todos los productos finales mantengan un nivel constante de calidad, de modo que cumplan el mismo conjunto de requisitos en igual medida.

Para evaluar el nivel de calidad es necesario realizar una serie de controles y pruebas. El control de calidad es el procedimiento vital que garantiza la consistencia, confiabilidad, facilidad de mantenimiento y producción de un producto o servicio en particular. Para lograrlo, existen diversas herramientas y metodologías estadísticas diseñadas específicamente para la inspección, identificación y gestión de procesos. Al adquirir conocimientos sobre estas herramientas y comprender su funcionamiento, podemos mejorar la calidad general del producto o servicio, lo que posteriormente conducirá a una mayor productividad y rentabilidad.

Así, se puede afirmar que el control de calidad ofrece numerosos beneficios, como minimizar la necesidad de inspecciones excesivas, evitar retrasos, disminuir la cantidad de unidades defectuosas que deben descartarse o reelaborarse y optimizar la utilización de recursos humanos, maquinaria y materiales. Si bien, es importante señalar que el alcance de estas ventajas puede variar dependiendo del modelo de negocio específico en el que se implementen las prácticas de control de calidad.

Lidiar con la fluctuación inherente en los procesos es un desafío que enfrentamos regularmente. La variabilidad se refiere al grado de diversidad dentro de un conjunto de valores o puntuaciones, que esencialmente representa el rango entre los valores observados más bajos y más altos. También sirve como medida de qué tan bien un proceso puede alcanzar el nivel de calidad deseado. En esencia, nos enfrentamos a dos formas distintas de variabilidad:

- Causas comunes o naturales de variación: Son características inherentes que surgen debido a factores fortuitos que afectan a todo el proceso productivo. Aunque suelen ser numerosos, su contribución a la variabilidad total no es tan grande, por lo que se observan cuando se controla el proceso. Son el resultado de cambios inherentes al proceso (por ejemplo, cambios de temperatura y humedad en las granjas porcinas). Aun así, todavía necesitan realizar análisis de capacidades para minimizar su impacto.
- Causas de variación asignables o especiales: Son causas que provocan que un proceso ya no pueda controlarse y, aunque son raras, su impacto es significativo. La probabilidad de que los datos superen los límites naturales es muy baja. Entonces, si tomamos una muestra de datos del proceso y algunos de ellos exceden el límite, es muy probable que algo inusual esté sucediendo con ese elemento. Se denominan causas especiales, que ocasionalmente afectan a una etapa concreta del proceso (por ejemplo, error humano o ajuste incorrecto de una máquina).

La variación es un aspecto inherente de la vida que no puede clasificarse como inherentemente positivo o negativo. Si bien es un fenómeno natural que no podemos eliminar por completo, tenemos la capacidad de minimizar su impacto. El objetivo principal del control estadístico de procesos es mantener el control sobre el proceso e identificar rápidamente cualquier desviación causada por factores únicos, así como determinar sus causas fundamentales. Hay circunstancias específicas en las que no es posible disminuir la variabilidad y, en algunos casos, incluso puede ser necesario aumentarla para mejorar la eficiencia del proceso. Uno de esos escenarios es cuando la reducción de costos conduce a un aumento de la variabilidad, lo que resulta en un compromiso en la calidad, sin dejar de mantenerse dentro de los límites especificados. Es esencial que comprendamos y determinemos plenamente hasta qué punto estamos dispuestos a priorizar ciertos valores sobre otros.

A lo largo de la historia, se han desarrollado e implementado innumerables métodos y enfoques para mejorar la calidad general de diversos procesos. Entre ellas, una estrategia ampliamente reconocida y utilizada se conoce como Six Sigma, que tiene sus raíces en el idioma inglés. El objetivo fundamental de Six Sigma es amplificar tanto la productividad como la rentabilidad minimizando y controlando los niveles de variabilidad que existen dentro de un sistema u operación determinado.

Así, las organizaciones que lo integran en sus marcos operativos tienen como objetivo mejorar cada paso de sus procesos y mejorar constantemente sus productos o servicios para minimizar cualquier falla en el resultado final. Además, se esfuerzan por lograr cambios sostenibles que puedan mantenerse durante un período prolongado.

Six Sigma es una metodología que tiene como objetivo alcanzar un nivel de calidad en el que solo hay 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), definiéndose un defecto

como cualquier caso en el que un producto no cumple con los requisitos especificados. El término "Six Sigma" en sí mismo se refiere a estar a seis desviaciones estándar de la media, lo que indica un alto nivel de precisión y coherencia. Al implementar los principios de Six Sigma, las organizaciones se esfuerzan por minimizar la variación en sus procesos, asegurando que la mayoría de los resultados estén dentro del rango deseado y que cualquier desviación se mantenga al mínimo. Este enfoque riguroso de la gestión de la calidad ha demostrado ser muy exitoso a la hora de impulsar la eficiencia, reducir los defectos y mejorar la satisfacción del cliente.

El Control Estadístico de Procesos (SPC) se basa en el uso de gráficos de control, que son herramientas gráficas con dos dimensiones. El eje vertical de estos gráficos representa la variable que se observa o mide. Dentro de este eje se representan tres líneas: la línea central (CL), que significa el valor promedio de la característica de calidad que se examina y sirve como medida de centralización; y dos líneas adicionales conocidas como límite de control superior (LCS) y límite de control inferior (LCI). Estos límites de control generalmente se ubican a ± 3 desviaciones estándar de la línea central. Esta relación entre SPC y Six Sigma se basa en que estos límites de control ayudan a identificar y monitorear variaciones dentro del proceso, contribuyendo así al objetivo de alcanzar los niveles de calidad Six Sigma.

Los límites de control del proceso se determinan analizando los datos estadísticamente. Estos límites indican el rango en el que deberían caer la mayoría de los puntos de datos si el proceso funciona correctamente. Este rango se calcula en base a las mediciones del proceso y abarca más del 99% de los datos observados.

Se considera que un proceso está bajo control o en "estado de control" cuando la característica de calidad que se observa en el proceso permanece consistentemente cerca de un valor promedio predeterminado y está influenciada principalmente por factores aleatorios.

Cuando los valores caen fuera de los límites de control establecidos, indica que el proceso no está operando dentro de parámetros aceptables y hay una razón específica para esta desviación que debe abordarse y resolverse.

En realidad, el CEP (Protocolo de Ambiente Controlado) implica una comparación continua de diferentes hipótesis para determinar si un proceso determinado está operando dentro de parámetros aceptables. Para realizar correctamente este análisis, es necesario recolectar muestras a intervalos regulares.

Es fundamental enfatizar que el control de procesos y la especificación de procesos no deben confundirse, ya que son dos conceptos distintos. Es posible que un proceso cumpla con las especificaciones sin estar completamente controlado y, a la inversa, es posible que un proceso controlado no cumpla con todas las especificaciones. Como resultado, los límites de control se emplean para evaluar el desempeño general de un proceso, mientras que los límites de

especificación se utilizan para determinar si los productos finales cumplen con los requisitos necesarios.

El CEP, o proceso de mejora continua, desempeña un papel crucial en nuestra capacidad de prever problemas potenciales que pueden surgir en el futuro, lo que dificulta nuestra capacidad para cumplir requisitos específicos. Al identificar estos problemas con anticipación, podemos tomar acciones correctivas inmediatas, evitando así que afecten el producto final y, en última instancia, lleguen al cliente. Asimismo, al comparar los límites de control, que están determinados por la variación natural del proceso, con los límites de especificación, podemos medir efectivamente la capacidad del proceso.

Capítulo 1

Control de Calidad

A pesar del reconocimiento y el debate frecuente sobre productividad y calidad, estos conceptos a menudo no se adoptan plenamente. Lo mismo se aplica al pensamiento científico. Numerosos estudios han demostrado que incluso con grandes esfuerzos en educación y formación, existe una renuencia a adoptar estos paradigmas y alinear las acciones en consecuencia. El siglo actual se caracteriza por rápidos avances en ciencia y tecnología, que inevitablemente seguirán remodelando la sociedad y la productividad.

Estos cambios constantes están impulsados por el uso extensivo del conocimiento, lo que dio lugar al término "el siglo de la información y el conocimiento", debido en gran medida a la capacidad de la tecnología para procesar y comunicar grandes cantidades de datos. La humanidad está adoptando cada vez más una metodología y tecnología generalizadas para aplicar el conocimiento de manera efectiva en tareas científicas, técnicas y de la vida cotidiana. Esto requiere la integración de ideas y métodos de diversas disciplinas como la gestión, la informática y la estadística.

La gestión del conocimiento y sus estrategias, métodos y herramientas son ahora consideraciones esenciales. Ya en las décadas de 1980 y 1990, la Revolución de la Calidad enfatizó la importancia de la calidad como medio para lograr los objetivos organizacionales. Esta perspectiva ha tenido un profundo impacto en los logros y desempeños, haciendo de la evaluación de la calidad y de las metodologías para su diseño, análisis y mejora conocimientos fundamentales para los profesionales de todos los niveles.

Así, la productividad ha sido un objetivo de larga data de la humanidad, con técnicas y metodologías desarrolladas para analizarla y mejorarla en diversos campos. La ingeniería y la tecnología han desempeñado un papel importante en esta búsqueda, y disciplinas como la investigación de operaciones y la optimización han ganado importancia en los ámbitos científico y profesional. Por lo tanto, los estadísticos, ha adquirido conocimientos sobre los desafíos que implica aprender conceptos estadísticos clave, entendiéndose la estadística como una metodología y tecnología que permite la adquisición y aplicación del conocimiento.

En consecuencia, gran parte del trabajo se ha centrado en organizaciones productivas como industrias y empresas. Si bien, también se ha reconocido la importancia de las estadísticas, sus principios y métodos en sectores gubernamentales como la educación. Entre tanto, se enfatiza la importancia de promover el pensamiento estadístico entre profesores y estudiantes de nivel secundario y superior; siendo en este contexto fundamental comprender que los datos por sí solos no constituyen información y que la información en sí misma no es conocimiento. Ya que, el valor

del conocimiento radica en su asociación con la acción y su capacidad para regular y guiar la toma de decisiones.

En el mundo actual, las herramientas estadísticas se han vuelto cada vez más populares y son muy valoradas por su capacidad para respaldar el diagnóstico, identificar problemas y mejorar procesos. Esto no sólo es cierto en entornos industriales y manufactureros, donde las estadísticas se han aplicado y desarrollado ampliamente, sino también en otros campos del desarrollo empresarial. Es importante señalar que se necesita una comprensión integral de la metodología estadística, no sólo para herramientas especializadas, sino también para herramientas y métodos básicos que han demostrado valor práctico en países como Japón y Estados Unidos.

En Japón, por ejemplo, el conocimiento estadístico se enseña en el nivel medio y superior y se aplica en todas las áreas de las organizaciones productivas. Incluso el público en general conoce y aplica métodos estadísticos. Esto se debe a que la toma de decisiones en la sociedad actual requiere de racionalidad y del uso de conocimientos técnicos y científicos. El uso de la metodología estadística es fundamental para mejorar la eficiencia y la productividad dentro de una organización. Sin embargo, aprender y utilizar estadísticas puede resultar un desafío debido a varios mitos y dificultades.

El mito más común es que las estadísticas son difíciles y requieren cálculos complejos. Sin embargo, esto está lejos de la verdad. Hoy en día, el software estadístico y el acceso a computadoras hacen que el aprendizaje de estadísticas sea mucho más simple y menos laborioso. La atención ya no debe centrarse en procedimientos de cálculo o en la creación de tablas y gráficos, ya que estas tareas se pueden realizar fácilmente con soporte informático.

En cambio, el énfasis debería estar en desarrollar las habilidades para identificar y plantear problemas, así como diseñar estrategias eficientes para resolverlos. Comprender cuándo y cómo utilizar un método o herramienta estadística, así como interpretar los resultados correctamente, es fundamental. Esto requiere una sólida comprensión de la metodología estadística y el proceso de aplicación de la misma. Si bien estos conceptos no son difíciles de comprender o poner en práctica, sí requieren un cambio de perspectiva sobre la disciplina de la estadística.

Las estadísticas han adquirido cada vez más importancia en diversas áreas de la actividad productiva, incluidas la manufactura, las industrias de servicios y las empresas en su conjunto. Este movimiento global, conocido como La Revolución de la Calidad, enfatiza conceptos como productividad, competitividad, excelencia y calidad total, y los sitúa a la vanguardia de los modelos de mejora continua. Aunque estas ideas y procedimientos existen desde hace décadas, enfoques filosóficos recientes los han revitalizado y presentado como algo nuevo. Aun cuando, es importante señalar que las herramientas y técnicas utilizadas en estadística no son realmente nuevas, aunque algunas pueden haber sido propuestas más recientemente. Esta reevaluación de la metodología

establecida ha resaltado la importancia de la capacitación y el desarrollo, aunque los principios y métodos estadísticos a menudo se presentan de manera no relacionada.

El triángulo de calidad

La gestión de la calidad abarca diversas disciplinas, incluidas la psicología, la administración, la estadística y la ingeniería. La calidad total, que forma parte de la gestión de la calidad, es un enfoque que tiene en cuenta la naturaleza holística de la calidad, reconoce que la calidad no es estática, sino más bien un concepto dinámico que implica satisfacer continuamente los requisitos del cliente. Además, la calidad total enfatiza la importancia de la optimización de costos, buscando el precio más bajo posible. Para lograrlo, es crucial que todas las partes involucradas en el proceso estén comprometidas y participen activamente. Este enfoque se basa en tres aspectos complementarios que contribuyen a la mejora continua y están representados en el triángulo de la calidad.



La clave para la mejora continua radica en definir claramente los objetivos, propósitos y metas del sistema, ya sea un proceso, empresa, fábrica o cualquier otra entidad. Sin embargo, no basta con tener el simple deseo de mejorar. Es igualmente importante entender cómo lograr esas mejoras, y esto es posible gracias al método científico y al conocimiento de los principios, procedimientos y técnicas utilizados para diagnosticar, intervenir y monitorear el proceso. Esta metodología, a su vez, también debe considerar el factor humano como aspecto fundamental para alcanzar el objetivo deseado.

Es crucial que todos los involucrados en el sistema comprendan y estén comprometidos con su rol, además de estar motivados para contribuir a los esfuerzos de mejora continua. Cuando se trata de lograr una mejora en la calidad, no existen modelos establecidos a seguir. Más bien, es necesario buscarlos sistemáticamente a medida que avanza el conocimiento del proceso,

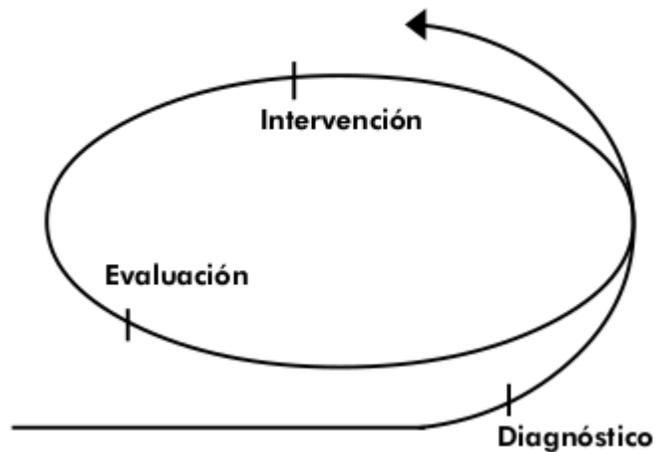
registrando y analizando datos e interpretando los resultados. Esta búsqueda de mejora puede darse en diversos contextos, como dentro de las instituciones educativas o en el lugar de trabajo. Existen herramientas estadísticas y tecnologías avanzadas para brindar apoyo en este esfuerzo.

Si bien las estadísticas pueden competir con la provisión de metodologías, también ofrecen apoyo al proporcionar los principios y conceptos básicos necesarios para adoptar una metodología adecuada. Esto incluye considerar causas tanto atribuibles como aleatorias que puedan afectar la operación del proceso. Además, existen principios y métodos de diversos campos, como el trabajo gerencial, la ingeniería y la gestión de recursos humanos, que deben tenerse en cuenta al diseñar un sistema adaptado a las necesidades y condiciones específicas de una organización. Para garantizar la calidad, una institución educativa, por ejemplo, requiere un sistema de gestión que se centre en el desempeño y los resultados, así como en la mejora continua.

Espiral de calidad

La introducción de tendencias de la moda en el uso de modelos para garantizar la calidad ha dado lugar a una gran cantidad de malentendidos en lo que respecta al control de calidad, la mejora continua y la gestión de la calidad. El control de calidad total, o gestión de la calidad, como se le conoce comúnmente, es un enfoque lógico y sistemático que enfatiza la importancia de que los tres aspectos trabajen juntos en armonía. Si bien pueden existir modelos generales para diseñar e implementar sistemas para el control de calidad total, es crucial considerar siempre las características únicas del proceso específico que se controla y mejora.

Esto requiere considerar tres aspectos fundamentales: una comprensión integral del proceso, incluyendo su propósito, funcionamiento y puntos críticos, lo que requiere una fase de diagnóstico exhaustivo; la implementación de intervenciones estratégicas para lograr los cambios deseados en el proceso; y la evaluación del impacto de estas intervenciones a través de medidas de diagnóstico posteriores.



El concepto de mejora continua constituye la base de esta idea, ya que supone avanzar hacia un mayor nivel de calidad en cada ciclo completado. Las herramientas estadísticas juegan un papel crucial en el proceso de diagnóstico. Para describir con precisión el proceso e identificar puntos críticos, es necesario utilizar técnicas estadísticas para el análisis de datos. Además, se emplean principios estadísticos para definir variables y recopilar datos mediante muestreo y diseño experimental.

Un diagnóstico integral del funcionamiento del proceso implica identificar factores que influyen en las revisiones de calidad y señalar puntos críticos o problemas dentro del proceso. A partir de la información obtenida se realiza una interpretación racional para crear un plan de intervención que mejore la eficiencia del proceso. Si bien muchas de las técnicas utilizadas en esta fase son fundamentales y requieren conocimientos estadísticos básicos, también requieren una comprensión profunda del proceso en sí. La fase de intervención implica el seguimiento, que también debe realizarse utilizando principios y técnicas estadísticas. La espiral de calidad, propuesta por el estadístico Shewhart en la década de 1930, está estrechamente relacionada con esta idea y se explorará más a fondo en el quinto capítulo, junto con el análisis de los gráficos de control.

El control evolutivo

Entre los diversos enfoques estadísticos para la mejora continua, una de las propuestas es el llamado control evolutivo, también conocido como EVOP (Evolutionary Operation) en inglés. Este enfoque proporciona un conjunto de principios y procedimientos que sirven como pautas generales para diagnosticar, intervenir y monitorear la evolución de un proceso con el objetivo de mejorar sus índices de calidad. Además, este enfoque incorpora el uso de diseño estadístico de

experimentos y técnicas de planificación para modelar, ajustar y diagnosticar modelos estadísticos lineales. Sin embargo, debido al alcance de este texto, sólo se mencionarán algunas generalidades.

Es evidente que este enfoque ha sido ampliamente estudiado y aplicado en procesos industriales. Su mayor ventaja reside en que los experimentos se realizan a gran escala, es decir, se planifican y ejecutan mientras la planta está en funcionamiento. Aun cuando, estas metodologías también se pueden aplicar a innovaciones educativas a nivel de subsistema. Trabajar con estas metodologías requiere pasar por una serie de etapas en el diagnóstico e intervención de procesos, que son similares a establecer un sistema de mejora de la calidad y la productividad.

Por lo tanto, es crucial considerar el marco de referencia para la gestión de la calidad educativa. Tanto en Japón como en Estados Unidos, donde se recomienda encarecidamente el uso de herramientas estadísticas en tareas de mejora de la calidad, se emplean ampliamente diseños experimentales y la construcción de modelos empíricos. Además de EVOP, otro enfoque notable de experimentación es el Método Taguchi, que enfatiza el diseño de calidad en tres áreas: diseño de sistemas, diseño de parámetros y diseño de tolerancias. Ambos enfoques enfatizan el valor de la metodología estadística. Para aplicar el enfoque de control evolutivo, se deben cumplir ciertas condiciones:

- En primer lugar, la persona que ocupa el máximo cargo de responsabilidad del proceso debe comprender el concepto y reconocer su utilidad.
- En segundo lugar, los superintendentes de procesos y los ingenieros deben poseer conocimientos suficientes para iniciar, desarrollar e interpretar el programa.
- Por último, los operadores de procesos deben tener una comprensión clara de los objetivos del programa y recibir una formación adecuada sobre el método operativo y la evaluación de sus efectos.

No se puede negar la importancia de la experimentación en el diseño y mejora de la calidad, y se basa en dos aspectos clave:

- Existe una necesidad continua de estudiar y centrarse en mejorar el proceso para identificar oportunidades de mejora. Esto también implica identificar factores que influyen en el proceso y proponer estrategias de mejora.
- Existe un reconocimiento cada vez mayor de la necesidad de un enfoque centrado en la calidad en el diseño de procesos en lugar de depender únicamente de la inspección masiva.

Edwards W. Deming

El aventura de Deming comenzó cuando viajó por primera vez a Japón con la misión de ayudar a la nación en la reconstrucción después de la devastación de la Segunda Guerra Mundial.

Su conocimiento y experiencia fueron muy valorados por científicos, ingenieros y empresarios que escucharon con entusiasmo sus seminarios. A través de sus enseñanzas, Deming explicó por qué Estados Unidos había abandonado la práctica del control de calidad e introdujo su visión a través de las Siete Enfermedades Mortales y sus obstáculos.

También presentó los famosos Catorce Puntos, un método general para establecer y fortalecer un sistema que priorice la mejora continua de la calidad. Nacido en el siglo XX, Deming hizo importantes contribuciones a las técnicas estadísticas y publicó numerosos artículos científicos y libros técnicos. Sin embargo, su verdadera fama radica en su filosofía del control de calidad, lo que le valió el título de padre del control de calidad. Sus ideas fueron fundamentales para el milagro japonés de la década de 1980, una época en la que la experiencia de Deming salió a la luz en su propio país, Estados Unidos.

Antes de eso, era conocido principalmente en un pequeño sector industrial y en la comunidad estadística. Además, Deming revolucionó el concepto de administración al introducir un enfoque sistémico y enfatizar el papel esencial de las herramientas estadísticas en el diagnóstico y diseño de procesos. Todas estas enseñanzas que impartió en Japón se derivaron de la observación de las prácticas defectuosas de la gestión empresarial estadounidense. A pesar de que las técnicas estadísticas se utilizan desde 1936, fueron abandonadas en la década de 1940 por considerarse innecesarias debido a la gran demanda de productos.

Deming creía que la causa fundamental de la mala calidad residía en prácticas poco éticas y una filosofía de gestión inadecuada. El estadístico Edwards W. Deming falleció en diciembre de 1993, pero su impacto en el campo de la estadística y el control de calidad todavía se siente hoy. A lo largo de su vida, Deming se dedicó incansablemente a su trabajo, dejando un legado notable que resuena en personas de todo el mundo. Las ideas de Deming enfrentaron críticas, particularmente en relación con sus puntos de vista sobre la gestión organizacional, lo que llevó al desarrollo de un nuevo método de gestión. Después de 1980, colaboró con varias empresas estadounidenses destacadas, guiándolas en la implementación de sistemas de mejora de la calidad y enseñándoles los principios de sus Catorce Puntos. A través de multitud de seminarios, Deming

1.	Ser constante en el propósito de mejorar los productos y los servicios
2.	Adoptar la nueva filosofía
3.	No depender más de la inspección masiva
4.	Acabar con la práctica de adjudicar contratos de compra basándose exclusivamente en el precio
5.	Mejorar continuamente y por siempre el sistema de producción y de servicio
6.	Instituir la capacitación en el trabajo
7.	Instituir el liderazgo
8.	Desterrar el temor
9.	Derribar las barreras entre los departamentos
10.	Eliminar los eslóganes, las exhortaciones y las metas para la fuerza laboral
11.	Eliminar las cuotas numéricas
12.	Derribar las barreras que impiden el sentimiento de orgullo que produce un trabajo bien hecho
13.	Establecer un vigoroso programa de educación y reentrenamiento
14.	Tomar medidas para lograr la transformación

pretendía convencer a las empresas de los beneficios de adoptar su filosofía, dejando tras de sí un legado duradero que aún espera el reconocimiento total de su verdadero valor para la humanidad.

En conclusión, la vida y obra de Edwards W. Deming estuvieron dedicadas al avance del campo de la estadística y el control de calidad. Sus aportes a la filosofía de la calidad y sus enseñanzas sobre la mejora continua han dejado una huella imborrable en el mundo. A pesar de su fallecimiento, las ideas de Deming continúan dando forma a la forma en que las organizaciones abordan el control y la gestión de calidad, un testimonio del profundo impacto que tuvo en este campo.

Es importante señalar que tanto la filosofía como la metodología del enfoque de Deming deben basarse en el método científico, teniendo en cuenta también el factor humano. En esencia, la clave es trabajar sistemáticamente, sin perder nunca de vista la idea central dentro del proceso de mejora de la calidad. Implementar un cambio basado en la teoría de Deming requiere la adopción de una mentalidad revolucionaria dentro de la organización. Implica establecer objetivos a mediano y largo plazo, adoptar un enfoque sistémico y considerar la dimensión humana de la fuerza laboral. También implica repensar la estructura organizacional en función de procesos y flujos.

Como primer paso en la implementación de un programa basado en los Catorce Puntos, las organizaciones deben tomar conciencia de las llamadas Siete Enfermedades Fatales y los obstáculos a la calidad que prevalecen en muchas organizaciones. Estas son prácticas comunes que deben abordarse y superarse. El segundo paso implica adoptar la filosofía y metodología propuestas por Deming, que no es un modelo único ni un conjunto de instrucciones rígidas. Más bien, requiere un enfoque integral que involucre a toda la organización. Al tomar en consideración una lectura descontextualizada de los Catorce Puntos, se puede argumentar que estas recomendaciones, como afirma Deming, pueden parecer inicialmente un buen consejo. Sin embargo, en muchas situaciones, no son fácilmente aplicables y pueden parecer tareas difíciles de llevar a cabo, como se observa en seminarios o cursos.

Los participantes suelen expresar escepticismo sobre la viabilidad de adaptar un sistema basándose en estas recomendaciones a menos que se realicen cambios significativos. Este fue precisamente el enfoque adoptado por el propio Deming, quien, en una entrevista, reveló que aconsejó a los japoneses en 1945 que si seguían sus recomendaciones verían resultados positivos en cinco años, y le creyeron. Durante ese tiempo, las ideas de Deming no fueron bien recibidas en Estados Unidos. Sin embargo, después de presenciar el éxito de las empresas japonesas y enfrentar una situación de crisis en la década de 1980, la filosofía de Deming finalmente fue adoptada en su país de origen. Actualmente existe un importante esfuerzo por parte de administradores, ingenieros y promotores de calidad para promover las enseñanzas de Deming y adaptarlas a diversos modelos de gestión mediante la creación de manuales y procedimientos.

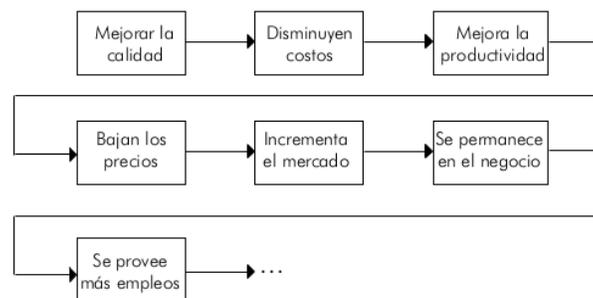
En el enfoque de Deming, la participación de consultores externos juega un papel crucial e indispensable. El individuo encargado de gestionar las tecnologías y metodologías para implementar un sistema de mejora continua dentro de una organización debe ser quien diseñe una

estrategia específica y supervise su implementación a lo largo de las distintas fases y componentes vitales de la organización. Por lo tanto, los consultores a los que se les ha confiado esta responsabilidad tienen un nivel significativo de responsabilidad y dedicación hacia la organización que asesoran.

Cabe mencionar que los Catorce Puntos han sido adaptados y sirven como marco general para las organizaciones, interpretando cada punto de manera que se adapte a sus actividades específicas. Algunos de estos puntos pueden estar sujetos a controversia, pero en general han sido reconocidos como una contribución significativa hacia un nuevo enfoque en la administración de los procesos de producción y servicios. La ausencia de estadísticas es evidente en esta situación. Sin embargo, Deming pudo revolucionar el concepto de control de calidad al enfatizar la importancia del diseño y la operación del proceso en lugar de depender únicamente de las inspecciones finales. Presentó un diagrama de flujo integral que incorporaba el proceso productivo y destacó el papel crucial de las estadísticas en la identificación y resolución de problemas.

Tras un examen cuidadoso de la obra filosófica de Deming, resulta evidente que sus enseñanzas tenían como objetivo reevaluar la importancia de la cultura estadística y disipar la noción de soluciones rápidas, soluciones mágicas y modelos de moda. Destacó la importancia de la educación, la formación y el método científico en el proceso de superación. Desafortunadamente, a menudo se pasa por alto el alcance total de su legado, ya que sus propuestas van más allá del mejoramiento personal para abarcar familias, organizaciones e incluso naciones.

En sus conferencias finales, Deming criticó la insuficiente atención prestada a la educación en el desarrollo de las naciones, incluido su propio país, los Estados Unidos de América. Consideró que la educación desempeñaba un papel crucial en el progreso social y pidió que se le prestara mayor atención. Las enseñanzas de Deming giran en torno a la comprensión de que los procesos exhiben inherentemente variabilidad. Sin embargo, creía que esta variabilidad puede explicarse y controlarse mediante el uso de técnicas estadísticas apropiadas, lo que conduciría a mejoras en la calidad. Ilustró este concepto a través de su famoso diagrama de reacción en cadena, demostrando cómo las mejoras en la calidad tienen un impacto positivo en los indicadores de crecimiento de las organizaciones.



Es crucial enfatizar la importancia y utilidad de las estadísticas en el contexto de la Revolución de la Calidad. Esta revolución no sólo es aplicable a los procesos de fabricación, sino que abarca todo tipo de procesos, incluidos los servicios, la administración y la educación. Comprender el proceso que se aborda es fundamental, y aquí es donde entran en juego las herramientas básicas. Estas herramientas están diseñadas para identificar el proceso y sus principales aspectos, y consisten en técnicas de recolección, organización, análisis e interpretación de datos.

En el siglo XXI, es importante que los educadores y estudiantes de todos los niveles tengan una visión integrada de la calidad. Todavía existen tendencias y enfoques que ven la calidad como un área especializada reservada a los expertos. No obstante, con el aumento de la estandarización y la certificación de procesos utilizando estándares internacionales ISO, es fundamental no pasar por alto la importancia de la calidad. De hecho, ha ganado protagonismo un paradigma de mejora continua y de implementación de sistemas de gestión de la calidad hacia la excelencia conocido como Metodología Seis Sigma. Esta metodología se basa en un enfoque sistémico, metodología científica y pensamiento estadístico.

La estadística, en este sentido, sirve como una herramienta poderosa en todos los niveles de una organización. Por lo tanto, es deseable que los miembros de una organización tengan una comprensión general de cuándo y cómo utilizar las herramientas estadísticas de manera efectiva y cómo tomar decisiones informadas basadas en los resultados. A medida que el sistema de mejora se vuelve más avanzado, aumenta la necesidad de más y mejores herramientas estadísticas. En algunos casos, incluso puede ser necesario buscar la orientación de un experto en análisis estadístico.

Existen determinadas corrientes que abogan por la importancia de la calidad y su principal objetivo es inculcar una alta motivación en las personas. Sin embargo, estas corrientes a menudo restan importancia a la importancia de las estadísticas y a los métodos necesarios para lograr mejoras. Como resultado, las personas que están expuestas a estas "promociones positivas" pueden sentirse frustradas cuando carecen del conocimiento y las herramientas para diagnosticar e intervenir en el proceso. Esta contradicción entre el deseo de mejorar, que se encuentra comúnmente en individuos y organizaciones, y la falta de una orientación adecuada pone de relieve la necesidad de diferenciar entre un "predicador de calidad" y un asesor o formador que posee tanto las ideas como las herramientas necesarias para mejorar.

Calidad

La dinámica sociocultural de la sociedad también ha desempeñado un papel significativo en la formación de los patrones de consumo y la relación entre productores y consumidores. Estas

dinámicas han llevado a cambios importantes en la forma en que percibimos y evaluamos la calidad. El cliente, usuario o beneficiario puede interpretarse en un sentido amplio y puede referirse a diferentes tipos de individuos. Por ejemplo, el cliente externo es la persona que compra, utiliza o disfruta del producto o servicio final. Sin embargo, en algunos casos puede ser difícil determinar quién es el cliente real. Así, una ama de casa que compra pañales para su bebé es la cliente externa, pero el bebé es el usuario y beneficiario final. De manera similar, en el caso de un hospital privado especializado en atención médica, el paciente a menudo se considera el cliente, cuando en realidad, el cuerpo médico especializado es el cliente.

Existe una falta de consenso cuando se trata de definir la calidad debido a varios factores. En primer lugar, la calidad no es un concepto absoluto y no se puede ver como un objetivo independiente, es necesario considerar no solo el producto o servicio en sí, sino también las formas en que se utiliza y se consumó determinar la calidad de algo implica "juicios de valor" subjetivos, que pueden variar de una persona a otra. Además, el concepto de calidad se puede entender y apreciar desde múltiples perspectivas y puntos de vista.

Desde el punto de vista de la producción, hay varios aspectos que se consideran en relación con la calidad. Estos incluyen la reducción y eliminación de desperdicios, la eliminación de quejas, la eliminación de operaciones de reprocesamiento, el cumplimiento de garantías y plazos de entrega, cero defectos y la importancia de hacer las cosas bien desde el principio. En esencia, el concepto de calidad es complejo y multifacético, con diferentes perspectivas, criterios y elementos a considerar. Está influenciado por las dinámicas socioculturales y abarca varios conceptos asociados.

Definir la calidad requiere entender las necesidades del cliente, usuario o beneficiario y asegurar que el producto o servicio posea las características necesarias para satisfacer esas necesidades. Al discutir sobre la calidad, entran en juego varios conceptos asociados, como la perfección, la consistencia, la puntualidad, la satisfacción, la confiabilidad, el servicio, la atención, la disponibilidad, la seguridad y la comodidad, entre otros. Cada uno de estos conceptos contribuye a nuestra comprensión de la calidad y agrega complejidad a su definición.

Se reconocen diferentes criterios o puntos de vista al evaluar la calidad. Estos incluyen criterios basados en el producto, criterios basados en el usuario, criterios basados en el valor y criterios basados en la fabricación. Cada criterio ofrece una perspectiva única sobre la calidad y enfatiza diferentes aspectos del producto o servicio. Asimismo, el producto o servicio es el elemento clave que permite satisfacer las necesidades del cliente; y posee una variedad de características y propiedades, que pueden variar en naturaleza, relevancia e importancia. Estas características incluyen rendimiento, confiabilidad, apariencia, seguridad, durabilidad, facilidad de reparación y mantenimiento, facilidad de uso, servicio al cliente, disponibilidad, cumplimiento, garantías, instrucciones y documentación, relación costo-beneficio, compatibilidad, amigabilidad,

comodidad, textura, sabor, olor, precisión, tamaño, peso, volumen, fidelidad, eficiencia, dureza, pureza, exclusividad, elegancia, resistencia, flexibilidad y muchas otras.

En términos de definición, la norma ISO 8402 define la calidad como el conjunto de propiedades o características de un producto o servicio que le permiten satisfacer necesidades expresas o implícitas. Esta definición destaca la importancia de entender las necesidades del cliente, usuario o beneficiario y asegurar que el producto o servicio posea las características necesarias para satisfacer esas necesidades. Sin embargo, identificar estos elementos y comprender sus interrelaciones puede ser desafiante, ya que a menudo son complejos y dinámicos.

El ciclo de la calidad

El Ciclo de la Calidad, se define como el proceso en el que un productor asegura la idoneidad de un producto o servicio para su uso, abarca una serie de actividades que involucran varios pasos, como realizar investigaciones de mercado para comprender las necesidades del cliente o usuario, crear un producto o servicio que satisfaga esas necesidades, desarrollar procesos de producción, adquirir recursos esenciales como talento, tecnología, equipos, materias primas e insumos, ejecutar el fase de producción, inspeccionando las entradas y salidas del proceso productivo para mantener el control de calidad, comercializando y vendiendo el producto o servicio, y ofreciendo servicios postventa. La idea del ciclo de calidad, implica reformular información o ideas de una manera que las haga más claras y fáciles de entender; esto es particularmente importante en el ciclo de la calidad, ya que una comunicación precisa es vital para la implementación exitosa de iniciativas de mejora de la calidad.

La calidad del diseño es un aspecto fundamental para garantizar la satisfacción del cliente. Para satisfacer las expectativas de los clientes, las organizaciones deben identificar su público objetivo y comprender sus necesidades, lo que permite diseñar productos o servicios que se alineen con las expectativas del cliente incorporando los atributos requeridos y garantizando el cumplimiento de las demandas del cliente. Así, el objetivo de cualquier sistema de calidad es proporcionar satisfacción continua al cliente, lográndolo mediante el aseguramiento de la calidad, que abarca acciones planificadas y sistemáticas para garantizar que los productos o servicios cumplan con los requisitos de calidad establecidos.

Por lo tanto, al implementar medidas de garantía de calidad, las organizaciones pueden infundir confianza en sus productos o servicios y mantener la satisfacción del cliente. Asimismo, la calidad del suministro juega un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad general del producto, implicando establecer una comunicación efectiva con los proveedores e implementar procedimientos para asegurar el cumplimiento de las especificaciones de las materias primas e insumos necesarios para la producción. Al mantener relaciones sólidas con los proveedores y monitorear la calidad de los insumos, las organizaciones pueden garantizar la calidad de sus productos finales.

Así, un sistema integral de gestión de la calidad abarca varios elementos como procedimientos, calidad del diseño, aseguramiento de la calidad, calidad del proceso, servicio al cliente, estructura organizacional, cultura de la calidad, calidad del suministro, registros de calidad y calidad de conformidad. Al implementar e integrar eficazmente estos elementos dentro de una organización, las empresas pueden lograr resultados de calidad consistentes, garantizando la satisfacción del cliente y manteniendo una ventaja competitiva en el mercado. Por último, la calidad de conformidad se refiere al cumplimiento continuo de las especificaciones y características requeridas por el producto. Implica monitorear y mantener continuamente la calidad del producto para cumplir con los estándares deseados.

Al evaluar y ajustar constantemente los procesos, las organizaciones pueden garantizar que sus productos cumplan constantemente con las expectativas de los clientes y cumplan con los requisitos de calidad. La integración de estos elementos de calidad dentro de una organización da lugar al concepto de sistema de calidad. Según la norma ISO 8402, un sistema de calidad se define como la estructura organizativa de responsabilidades, procedimientos, procesos y recursos establecidos para llevar a cabo la gestión de la calidad. Este sistema garantiza que la calidad se gestione eficazmente en todos los niveles de la organización, promoviendo la coherencia y el cumplimiento de los estándares de calidad.

Los registros de calidad también son esenciales para mantener la integridad del sistema de calidad; y definen los procedimientos, formatos y métodos de almacenamiento de la documentación relacionada con la calidad. Al mantener registros precisos y organizados, las organizaciones pueden rastrear y monitorear la calidad de sus productos o servicios, asegurando que cumplan constantemente con los estándares deseados.

La calidad del proceso es otro factor crucial para lograr los resultados de calidad deseados. Es esencial diseñar e implementar procesos de producción efectivos que entreguen consistentemente productos de alta calidad, requiriendo establecer procesos eficientes que garanticen la producción de productos con los atributos requeridos. Al centrarse en la calidad del proceso, las organizaciones pueden garantizar la producción de productos confiables y satisfactorios.

La implementación de un sistema de calidad requiere componentes específicos. En primer lugar, las organizaciones deben definir su estrategia, objetivos y políticas de calidad para garantizar que la concepción de calidad sea compartida por todos sus miembros. Además, el sistema de calidad requiere el diseño de una estructura organizacional que defina claramente responsabilidades, niveles de autoridad y formas de relación con otras unidades y áreas de la empresa.

Construir una cultura de calidad dentro de la organización también es crucial para la mejora continua, esto se trata de diseñar y ejecutar acciones para promover una cultura de calidad en todos

los niveles y áreas de la organización, puesto que al inculcar una cultura de calidad, las organizaciones pueden esforzarse continuamente por lograr la mejora y la excelencia. Entonces, se tiene que en torno a la calidad del producto, las organizaciones también deben priorizar un servicio al cliente de calidad para garantizar la satisfacción del cliente, implicando diseñar e implementar sistemas de información y procesos de comunicación que brinden soporte, atención, resolución de problemas y asesoramiento oportuno a los clientes durante todo su recorrido, desde la reventa hasta la posventa. Al fomentar relaciones sólidas con los clientes y abordar sus necesidades de manera efectiva, las organizaciones pueden mejorar la satisfacción y lealtad del cliente.

Los procedimientos desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de una gestión de calidad coherente dentro de las organizaciones, puesto que describen los pasos y actividades necesarios para diversos procesos, asegurando que las operaciones se lleven a cabo de manera eficiente y efectiva. Dependiendo de la estructura organizacional, los procedimientos se clasifican en diferentes niveles, que van desde procedimientos de nivel gerencial que involucran planificación y establecimiento de objetivos, hasta procedimientos de nivel operativo que pertenecen a actividades específicas de producción, compras y ventas.

La utilización de métodos estadísticos en el control de calidad se remonta hasta la década de 1930 en los Laboratorios Bell de Estados Unidos, cuando el Dr. W. A. Shewhart introdujo un gráfico de control. Este enfoque de control de calidad se adoptó ampliamente durante la Segunda Guerra Mundial, ya que ayudó a optimizar la producción en las industrias norteamericanas. Posteriormente, Japón adoptó este método y su implementación mejoró enormemente la fabricación de diversos productos, lo que llevó a un aumento significativo de las exportaciones del país. Los estándares industriales japoneses definen el control de calidad como un sistema de métodos de producción que produce económicamente bienes o servicios de alta calidad, cumpliendo con los requisitos del consumidor. En la actualidad el enfoque moderno del control de calidad incorpora métodos estadísticos y comúnmente se lo conoce como control de calidad estadístico.

Este cambio de enfoque ha llevado a que las actividades de control de calidad sean manejadas principalmente por niveles de supervisión y ha llamado la atención de la dirección de las empresas, cambiando por completo sus concepciones sobre la administración. Figuras influyentes en este movimiento, como el Dr. W. Edwards Deming, el Dr. J. M. Juran y el Dr. Kaoru Ishikawa, han introducido conceptos novedosos, incluida la consideración de los clientes como parte del proceso y la implementación de círculos voluntarios de control de calidad. Asimismo, se han utilizado herramientas estadísticas relativamente simples para tomar decisiones más racionales en lugar de confiar únicamente en la intuición.

El control estadístico de calidad en su forma japonesa se centra principalmente en el control de procesos, lo que implica investigación de mercado, diseño, producción y ventas. El enfoque

difiere de los métodos tradicionales de control de calidad que se basan únicamente en la inspección de los productos terminados. Según K. Ishikawa, si las empresas pueden evitar la producción de artículos defectuosos desde el principio controlando los factores del proceso que causan los defectos, pueden ahorrar una cantidad significativa de dinero que de otro modo se gastaría en inspección.

Ishikawa clasifica estas herramientas como métodos estadísticos elementales debido a su facilidad de uso, incluyen:

- teoría del muestreo,
- inspección estadística por muestreo,
- estimaciones y pruebas estadísticas,
- pruebas sensoriales y
- diseño de experimentos.

Los métodos estadísticos avanzados incluyen:

- métodos avanzados de diseño experimental,
- análisis multivariado e
- investigación de operaciones.

Se aplica control estadístico en cada fase, considerando la variabilidad natural del proceso, proporcionando a los decisores la información necesaria para tomar decisiones ante variaciones que no son inherentes al sistema. También permite a la gerencia innovar y realizar cambios que reduzcan la variabilidad natural, mejorando así continuamente la calidad en función de los requisitos del consumidor final.

Las herramientas fundamentales para lograrlo son: los gráficos de control, que son el foco de este trabajo. En cuanto a la aceptación de lotes mediante planes de muestreo, el Dr. Deming destaca su importancia afirmando que parafraseando: es un aspecto importante para considerar en las prácticas de control de calidad. Implementar prácticas de control de calidad según este marco significa ejercer control en cada fase del proceso de producción, expandiendo el concepto de calidad más allá de un solo componente a toda la cadena de producción.

Cada grupo de trabajo involucrado en agregar valor a las materias primas se convierte en “cliente” del grupo anterior y atiende al siguiente hasta llegar al consumidor final. Ishikawa destaca que hasta el 95% de los problemas de una empresa se pueden resolver utilizando estas herramientas. Algunas de estas herramientas incluyen el diagrama de Pareto, que sigue el principio vital de pocos y trivial de muchos, el diagrama de causa y efecto (también conocido como diagrama

de espina de pescado), estratificación, hojas de verificación, hojas de verificación, diagramas de dispersión y gráficos de control (que se originan a partir de Shewart).

La Variabilidad: pensamiento estadístico

La variabilidad es algo común en nuestra vida diaria, lo experimentamos en varios aspectos, como el tiempo que lleva viajar de casa al trabajo o la escuela, la temperatura ambiente fluctuante a lo largo del día e incluso el dulzor inconsistente de una bebida preparada en casa. La variación no se limita a las experiencias personales, sino que también existe dentro de los procesos de las empresas, razón por la cual el control estadístico de los procesos es crucial. No sólo es importante determinar la tendencia central, o media, de un proceso sino también comprender su variabilidad.

Para ilustrar la importancia de los procesos de baja variación, consideremos dos empresas que ofrecen el mismo producto. La empresa A tarda entre 10 y 22 días en procesar los pedidos, mientras que la empresa B tarda entre 13 y 19 días. Aunque ambas empresas tienen el mismo tiempo promedio de cumplimiento de 16 días, los clientes de la Empresa B tendrían menos incertidumbre sobre cuándo se completarían sus pedidos debido a la menor variación en el proceso. En la búsqueda de mejorar la calidad y la productividad de los procesos, como lo defiende la metodología Six Sigma¹, las técnicas y el pensamiento estadístico son invaluable. Estas técnicas proporcionan metodologías que ayudan en la planificación, el análisis y la toma de decisiones.

Al utilizar herramientas estadísticas, podemos identificar áreas problemáticas, analizar datos para comprender las fuentes de variabilidad, detectar anomalías y evaluar objetivamente el impacto de las acciones. Este enfoque nos permite centrarnos en los problemas y causas más críticos, analizar las mejoras sistemáticamente y basar las decisiones en datos fácticos en lugar de creencias o experiencias personales. Cada una de las 6 M² introduce su propia variación en un proceso. Por ejemplo, los materiales utilizados pueden no ser idénticos y las personas involucradas pueden poseer diferentes habilidades y niveles de capacitación. Por lo tanto, se hace necesario comprender y minimizar la variación asociada con cada una de las 6 M. Además, el monitoreo continuo de los procesos es vital, ya que pueden ocurrir cambios en las 6 M con el tiempo.

Los cambios pueden incluir la introducción de materiales inadecuados, errores humanos, desequilibrios de las máquinas y deterioro de las herramientas. Para monitorear eficazmente los procesos y detectar cambios, comúnmente se utilizan gráficos de control. Por ejemplo, en un

¹ Six Sigma es un enfoque muy eficaz para mejorar los procesos de negocio que tiene como objetivo aportar coherencia y reducir las inconsistencias en el producto final. Es una metodología sólida que las organizaciones adoptan para perfeccionar sus operaciones y lograr resultados óptimos. Al implementar Six Sigma, las empresas pueden optimizar eficazmente sus procesos, minimizar las variaciones y, en última instancia, mejorar la calidad de su resultado final.

² Están conformada por: los materiales, la mano de obra, las mediciones, el medio ambiente, las máquinas y los métodos que conforman un proceso.

hospital se lleva un registro del tiempo que los pacientes esperan para ser atendidos, esto se puede analizar de la siguiente forma: se toma una selección aleatoria de 40 tiempos de espera y los resultados pueden variar mucho. Los tiempos de espera oscilaron entre 0,7 minutos y 18,1 minutos. Aunque el tiempo de espera promedio se calculó en 11,1 minutos, es evidente que existe una variación significativa entre los tiempos de espera de los clientes.

Reducir la variación del proceso es un objetivo principal del control estadístico y Six Sigma. Para lograrlo, es esencial comprender los factores que contribuyen a la variación. En cualquier proceso, ya sea industrial o administrativo, la interacción de materiales, máquinas, mano de obra, mediciones, entorno y métodos influye en la variabilidad y calidad del resultado del proceso. Estos seis elementos, conocidos como las 6 M, determinan colectivamente el resultado de cada proceso.

El pensamiento de tipo estadístico

El concepto de pensamiento estadístico abarca una filosofía que gira en torno a tres principios fundamentales: el reconocimiento de que todo trabajo se lleva a cabo dentro de un sistema de procesos interconectados, la comprensión de que existe variación en todos los procesos y la creencia de que comprender y reducir esta variación es crucial para lograr el éxito. Para pensar estadísticamente, uno debe recopilar información sobre un proceso para comprenderlo y luego actuar de acuerdo con ese conocimiento adquirido:

- El primer principio del pensamiento estadístico enfatiza la naturaleza interconectada de los procesos internos. Destaca que los procesos no operan de forma aislada; en cambio, interactúan con el sistema más grande. Esto resalta la importancia de considerar cómo se relaciona un proceso con el resto del sistema. No tener esto en cuenta puede tener consecuencias no deseadas, ya que la optimización de una parte del sistema puede tener efectos perjudiciales en otros componentes. Por lo tanto, es necesario un enfoque holístico para garantizar la eficiencia y eficacia generales del sistema.
- El segundo principio reconoce el hecho de que los resultados de todos los procesos están sujetos a variación, como hemos discutido anteriormente y continuaremos explorando a lo largo de este libro.
- El tercer principio, se centra en minimizar la variabilidad para alcanzar el nivel deseado de calidad Six Sigma.

El desafío importante radica en alentar a las empresas a adoptar la filosofía del pensamiento estadístico, ya que no sólo facilita una mejor comprensión de la realidad con su variación inherente sino que también permite una dirección más efectiva de los esfuerzos de mejora.

La solución de problemas en el ciclo de calidad

Para mejorar la calidad y abordar eficazmente los problemas persistentes y de larga data, es fundamental adherirse a una metodología bien estructurada que profundice en las causas fundamentales de los problemas importantes en lugar de limitarse a abordar los síntomas y las consecuencias. Muchos métodos de resolución de problemas se inspiran en el ciclo de la calidad o ciclo PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar). Este enfoque implica desarrollar un plan detallado para abordar el problema, implementarlo a pequeña escala o mediante pruebas, evaluar si se han logrado los resultados deseados y evaluar el alcance de las mejoras. Con base en este análisis, se toman las acciones apropiadas, como ampliar el plan exitoso, implementar medidas preventivas para garantizar que las mejoras sean sostenidas o revisar el plan si los resultados no son satisfactorios. Este proceso iterativo permite la mejora continua. El ciclo PHVA se puede dividir en ocho pasos o actividades:

- El primer paso en el proyecto de mejora es elegir y definir cuidadosamente el problema en cuestión. Esto implica identificar un problema importante, determinar su alcance e importancia y comprender su impacto en los clientes internos y externos. Los datos estadísticos son cruciales para cuantificar la frecuencia con la que ocurre el problema, al mismo tiempo que brindan información sobre el costo anual estimado asociado con él. Una vez que el problema se caracteriza completamente, se establece el objetivo del proyecto de mejora y se reúne un equipo dedicado de personas para abordar el problema de frente.
- Para identificar eficazmente la causa raíz de un problema, es importante explorar a fondo todas las causas potenciales sin entablar discusiones sobre ellas. Esto se puede lograr mediante la aplicación de una sesión de lluvia de ideas. Durante esta sesión, es fundamental centrarse en hechos generales en lugar de detalles específicos. Por ejemplo, si el problema en cuestión implica el rechazo de lotes debido a su mala calidad, es más beneficioso preguntar acerca de las razones detrás del rechazo general de los lotes, en lugar de centrarse en un lote en particular. Al adoptar este enfoque, se puede lograr una comprensión integral de todas las causas posibles.
- El tercer paso implica realizar una investigación en profundidad sobre las posibles causas identificadas en el paso anterior. El objetivo es determinar las causas más significativas de la lista. Siempre que sea posible, se deben utilizar técnicas de análisis estadístico como el análisis de Pareto o la estratificación para hacer esta determinación. En los casos en que el análisis estadístico no sea factible, se puede emplear un enfoque de consenso o votación, similar a la técnica de lluvia de ideas. Al final de este paso, el equipo debería haber identificado las causas específicas que serán objeto de acciones correctivas para abordar el problema de manera efectiva.
- En el cuarto paso del proceso de resolución de problemas, es importante considerar la posibilidad de tomar medidas correctivas. Durante este paso, es necesario determinar las acciones específicas que se tomarán para cada causa que requiere acción. Es crucial

encontrar medidas que aborden la causa raíz del problema y modifiquen la estructura subyacente, en lugar de optar por soluciones superficiales que solo aborden los síntomas. Para identificar las soluciones adecuadas para cada causa, es útil consultar los análisis realizados en el paso anterior o participar en una sesión de lluvia de ideas para generar ideas. Para cada causa, es importante brindar información detallada sobre las soluciones, incluyendo el objetivo que se pretende lograr, dónde se implementarán, quién será el responsable de llevarlas a cabo, un plan detallado que describa cómo se ejecutarán, el costo estimado costo asociado con la implementación de la solución, el método para verificar su efectividad y cualquier efecto secundario esperado que pueda surgir. Tomar estos pasos garantizará que las medidas correctivas elegidas sean exhaustivas, efectivas y tengan un impacto positivo en la resolución del problema en cuestión.

- El paso cinco implica la implementación de medidas correctivas. Es crucial llevar a cabo estas medidas según lo acordado de antemano, comenzando con un ensayo a pequeña escala. Además, se recomienda encarecidamente cumplir estrictamente el plan desarrollado en el paso anterior e involucrar a todas las personas afectadas por las medidas. También es importante proporcionar una comunicación y explicación clara de los objetivos que se persiguen a través de estas medidas correctivas. Si surge la necesidad de realizar modificaciones al plan original, es imperativo obtener el acuerdo del equipo del proyecto responsable de su ejecución.
- Revisión de resultados. Aquí es necesario comprobar con datos estadísticos si las medidas correctivas funcionaron. Una forma práctica es hacer una comparación estadística de la magnitud del problema antes y después de tomar medidas. Si se encuentran resultados positivos, deben cuantificarse en términos monetarios (si es posible).
- Para evitar que vuelva a ocurrir el mismo problema, es importante revisar y evaluar minuciosamente todas las acciones tomadas. Si las soluciones implementadas no dieron el resultado deseado, es necesario analizar cuidadosamente todo lo que se hizo, aprender de ello, reflexionar sobre las lecciones aprendidas y sacar conclusiones significativas. A partir de esta reflexión, es crucial empezar de nuevo con un enfoque renovado. Por otro lado, si las soluciones resultan efectivas, es esencial analizar y estandarizar la aplicación de esas medidas correctivas. Asimismo, es vital acordar e implementar acciones para garantizar que el problema no se repita en el futuro. Esto puede implicar estandarizar la nueva forma de operar el proceso, documentar el procedimiento y establecer un sistema sólido de control o monitoreo del proceso para garantizar la prevención continua del problema.
- La conclusión, el paso final del proceso implica una revisión y documentación exhaustiva de todo lo que se ha logrado. Esto incluye cuantificar los resultados y evaluar el logro de los objetivos del proyecto, tanto mensurables como no mensurables. Además, es esencial identificar cualquier causa o problema persistente que aún pueda persistir y sugerir posibles

soluciones para abordarlos. Por último, es crucial compilar una lista de los beneficios indirectos e intangibles que se han logrado mediante la implementación del plan de mejora. Este paso garantiza que todos los aspectos del proyecto se analicen y documenten minuciosamente, proporcionando una comprensión integral del éxito general y el impacto de los esfuerzos de mejora.

Estos ocho pasos, cuando se aplican a problemas recurrentes o proyectos de mejora, pueden parecer inicialmente una carga adicional con desviaciones innecesarias. Sin embargo, a largo plazo, tienen el potencial de aliviar la necesidad de diversas actividades que actualmente no tienen ningún impacto positivo en la calidad. En términos más simples, al seguir estos ocho pasos, el enfoque pasa de la cantidad de acciones inmediatas a la calidad de esas acciones, lo que resulta en soluciones más efectivas e impactantes. Es esencial que la adopción de estos ocho pasos se convierta en una práctica habitual que sea fomentada y adoptada por todos los individuos dentro de la empresa, independientemente de su puesto o nivel de gestión.

La estadística descriptiva

Para determinar si un proceso está funcionando bien, es importante asegurarse de que las variables de salida o respuesta cumplan con ciertos objetivos y especificaciones. Para ello, el control de calidad se centra en comprender la capacidad o habilidad del proceso; lo que implica determinar el alcance de la variación natural en el proceso para una característica de calidad específica. Al estudiar técnicas de estadística descriptiva se logra comprender mejor la capacidad del proceso y determinar si la característica de calidad es satisfactoria, siendo particularmente útiles estas técnicas al momento de analizar variables continuas.

En la realización de un estudio de capacidad, normalmente es necesario recopilar datos del proceso durante un período prolongado, y la duración dependerá de la velocidad del proceso. Para procesos de alta velocidad que generan una gran cantidad de productos cada día, comúnmente se utiliza un período de referencia de cuatro a 10 días, muestreando una pequeña porción de los productos producidos en intervalos específicos, con un tamaño de muestra total que oscila entre 120 y 150. Por otro lado, para procesos más lentos que producen sólo unos pocos productos por día, el período de estudio necesita ampliarse para reunir un tamaño de muestra de al menos 50 o 60 productos. En ambos casos, recopilar más datos durante un período de tiempo más largo permite una mejor comprensión del verdadero desempeño del proceso.

La medidas de tendencia central

Al analizar mediciones de una característica de calidad, el primer aspecto a explorar es determinar la tendencia central de los datos. Esto implica identificar un valor que represente el valor promedio o típico alrededor del cual los datos tienden a agruparse. Este conocimiento es

crucial para comprender si el proceso está enfocado o no. En otras palabras, ayuda a determinar si la tendencia central de la variable de salida se alinea estrechamente con un valor nominal deseado.

La media muestral

Cundo se tiene un conjunto de observaciones numéricas $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ que representan una muestra. Para determinar la tendencia central de esta muestra, generalmente se utiliza la media (o promedio) muestral, que se calcula encontrando la media aritmética de todos los puntos de datos: la suma de x_1, x_2, \dots, x_n dividida por el número total de puntos de datos n . Sumando todos los datos y dividiéndolos por n , obtenemos la media muestral.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Por ejemplo:

1.15	1.20	1.17	1.16	1.16	1.15	1.17	1.20	1.16	1.19	1.17	1.13	1.15	1.20	1.18	1.17	1.16
1.20	1.17	1.17	1.20	1.14	1.19	1.13	1.19	1.16	1.18	1.16	1.17	1.15	1.21	1.15	1.20	1.18
1.17	1.17	1.13	1.16	1.16	1.17	1.20	1.18	1.15	1.13	1.20	1.17	1.19	1.23	1.20	1.24	1.17
1.17	1.17	1.17	1.18	1.24	1.16	1.18	1.16	1.22	1.23	1.22	1.19	1.13	1.15	1.15	1.22	1.19
1.18	1.19	1.17	1.16	1.17	1.18	1.19	1.23	1.19	1.16	1.19	1.20	1.17	1.13	1.22	1.19	1.21
1.20	1.19	1.17	1.19	1.22	1.19	1.18	1.11	1.19	1.19	1.17	1.19	1.17	1.20	1.16	1.19	1.20
1.20	1.17	1.25	1.16	1.16	1.20	1.20	1.16	1.18	1.21	1.20	1.22	1.19	1.14	1.19	1.17	1.20
1.16	1.15	1.20	1.12	1.11	1.18											

En la anterior tabla que mide el grosos de los discos producidos, la media de los datos es $\bar{X} = 1,179$ mm, lo que indica que el espesor promedio de los discos de muestra es 1,179 mm. Sin embargo, es importante señalar que esto no significa que todos o la mayoría de los discos tengan un espesor de 1.179 mm. De hecho, ninguno de los discos del ejemplo tiene tal espesor. En este caso particular, donde la media de la muestra se deriva de una muestra grande en el lapso de una semana, podemos inferir que el proceso podría estar ligeramente sesgado hacia valores más bajos o desplazado hacia la izquierda, ya que el objetivo deseado para el espesor es 1,20 mm.

La Media poblacional o del proceso, μ

Al calcular la media utilizando todos los elementos de la población, lo que se refiere a todos los indicadores posibles, implica considerar todos los individuos, especímenes, objetos o mediciones de interés en un estudio. Por ejemplo, esto podría incluir el espesor de todos los discos producidos en un período de tiempo determinado. La media calculada en este caso se conoce como media del proceso o media poblacional, representada por la letra griega μ (mu). Es importante tener en cuenta que la media del proceso μ representa un valor específico, aunque no siempre se conoce. Por otro lado, el valor de \bar{X} , se obtiene para cada muestra y varía de una muestra a otra, ya que depende de las piezas concretas seleccionadas. \bar{X} se considera una variable y aleatoria. Debido a esto, el valor observado de la media de la muestra es diferente de la media del proceso μ .

Es fundamental tener cuidado al hacer afirmaciones basadas en la media muestral \bar{X} , ya que es posible que no representen con precisión la media de todo el proceso o la población. Generalmente, las observaciones realizadas a partir de estadísticas muestrales reflejan el comportamiento de los datos dentro de la propia muestra. Cuando la muestra es representativa y grande, estas observaciones pueden proporcionar un cierto grado de aproximación a todo el proceso. Sin embargo, es necesario utilizar técnicas estadísticas para evaluar el significado general de estas observaciones dentro de todo el proceso.

La mediana o el percentil 50

La mediana X_{\sim} es otra forma de medir la tendencia central de un conjunto de datos. Es el valor que divide los datos por la mitad cuando se ordenan de menor a mayor. El cálculo de la mediana depende de si el número de puntos de datos es par o impar. Si es impar, la mediana es el valor medio de la lista ordenada. Si es par, la mediana se calcula hallando el promedio de los dos valores medios. Por ejemplo, en la tabla anterior, se determina que la mediana es 1,18 mm. Esto significa que el 50% de los espesores de los discos de la muestra son menores o iguales a 1,18 mm, mientras que el otro 50% son mayores o iguales a este valor.

La moda

La moda, que representa el punto de datos que aparece con más frecuencia. Si hay varios puntos de datos con la misma frecuencia más alta, cada uno de ellos se considera una moda y el conjunto de datos se denomina multimodal. Un factor importante por considerar al utilizar la media es su susceptibilidad a datos extremos o atípicos. Por ejemplo, al calcular la media y la mediana para el siguiente conjunto de datos: 100, 300, 1000, 1500, 800, 1600, 1100, la media es 1200 y la mediana es 1100. Sin embargo, si agregamos un valor atípico como 2000, la media cambia drásticamente a 2000, mientras que la mediana no se ve afectada. Esta situación no es aplicable cuando la distribución de datos está sesgada. Por tanto, en tales casos, la mediana es una medida de tendencia central más fiable. Con base en las observaciones anteriores, es crucial considerar

tanto la media como la mediana, junto con la moda, al describir la tendencia central de un conjunto de datos.

Cuando la media difiere significativamente de la mediana, indica la presencia de datos atípicos o un sesgo significativo. En estas situaciones, es preferible informar la mediana como medida de tendencia central e investigar la causa de los datos atípicos, ya que podría revelar ideas importantes sobre el proceso subyacente. En el ejemplo de las medidas del disco, solo hay un modo que es 1,17. Esta medición en particular ocurrió con mayor frecuencia, apareciendo 23 veces. Por lo tanto, en este ejemplo, la media es 1,179, la mediana es 1,18 y la moda es 1,17. Es importante señalar que la media a menudo se confunde con dividir los datos por la mitad o ser el punto de datos más frecuente. Esta confusión surge al mezclar el concepto de media con el de mediana y moda, respectivamente.

Las medidas de tendencia central, como la media, la mediana y la moda, no son suficientes para determinar la calidad de un conjunto de datos. Por ejemplo, se requiere que un dato tenga una longitud entre 800 ± 5 . Para comprobar si se cumple este requisito, se toma una muestra aleatoria grande y se obtienen los siguientes estadísticos: la media (\bar{X}) es 801, la mediana (X_{\sim}) es 801 y la moda es 800. Según estas estadísticas, se podría suponer que los datos cumplen con las especificaciones. Sin embargo, esta suposición puede no ser exacta porque la muestra podría contener puntos de datos que van desde 750 a 850, con un promedio de 801. Por otro lado, el rango de variación dentro de los datos podría ser tan estrecho como 797 a 803, aun cumpliendo las especificaciones. Esto demuestra que las medidas de tendencia central por sí solas son insuficientes como criterio de calidad porque no consideran la dispersión o dispersión de los datos, lo cual es crucial para evaluar la calidad.

Las Medidas de dispersión o variabilidad

Para comprender completamente un conjunto de datos, es importante no sólo conocer la tendencia central sino también comprender cuánto se desvían los valores entre sí. Esta medida de variabilidad o dispersión es crucial para evaluar la capacidad del proceso. En este sentido, existen cuatro métodos comúnmente utilizados para cuantificar la variabilidad. Aquí, x_1, x_2, \dots, x_n representan las observaciones numéricas de la muestra, n representa el tamaño de la muestra y \bar{x} denota la media de la muestra. La desviación estándar, S , esencialmente mide la distancia promedio entre cada punto de datos y la media.

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Por tanto, un valor mayor de S indica una mayor variabilidad en los datos. Es importante tener en cuenta que la desviación estándar se expresa en las mismas unidades de medida que los

datos (por ejemplo, gramos, milímetros). Además, la desviación estándar no proporciona información sobre la magnitud de los datos; únicamente refleja qué tan lejos está cada punto de datos de la media. De manera similar a la media, la desviación estándar está influenciada por valores atípicos en los datos.

La Desviación estándar poblacional o del proceso, σ

Si la desviación estándar se calcula utilizando todos los elementos de la población o proceso, se la denomina desviación estándar de la población, denotada con la letra griega sigma (σ). Esto se puede lograr considerando como población las mediciones de toda la producción de las últimas semanas u obteniendo los parámetros poblacionales (μ y σ) utilizando una gran cantidad de mediciones tomadas como muestras, que generalmente oscilan entre 120 y 150 mediciones. Esto se considera una buena cantidad de mediciones.

El coeficiente de variación, CV, es una medida de variación que tiene en cuenta la magnitud de los datos. Compara la desviación estándar relativa a la media de los datos y se calcula de la siguiente manera: $CV = (S/\bar{x}) * 100$. El CV es particularmente útil para comparar la variación de variables que se miden en diferentes escalas o unidades, como metros versus segundos.

Por otro lado, el cuadrado de la desviación estándar, S^2 , se conoce como varianza muestral y es crucial para la inferencia estadística. De manera similar, σ^2 representa la varianza poblacional. Otra medida de dispersión es el rango o camino, R, que calcula la diferencia entre los puntos de datos más grandes y más pequeños de un conjunto de datos. El rango indica el grado de variación de los datos y no está influenciado por la magnitud de los datos. Por ejemplo, si tenemos dos conjuntos de datos: $A = \{10, 12, 14\}$ y $B = \{159, 161, 163\}$, es evidente que las magnitudes de los datos son diferentes, reflejado por sus respectivas medias de 12 y 161. Sin embargo, en términos de variabilidad, ambos conjuntos de datos exhiben el mismo nivel de dispersión, como lo indica la desviación estándar de 2 y el rango de 4 en ambos casos.

Relación entre \bar{X} y S: interpretación de la desviación estándar

Para comprender claramente la importancia de la desviación estándar como medida de cuán dispersos están los datos alrededor del promedio, es necesario examinar la relación entre la media y la desviación estándar. Esta relación puede explicarse mediante la desigualdad de Chebyshev y la regla empírica. La desigualdad de Chebyshev proporciona dos hechos importantes: primero, entre la media menos dos veces la desviación estándar y la media más dos veces la desviación estándar, al menos el 75% de los datos muestrales estarán dentro de este rango. En segundo lugar, dentro de este rango, existe la garantía de que no habrá valores que estén más alejados de la media que este rango. La regla empírica, por otro lado, se basa en observaciones prácticas y establece que en muchos conjuntos de datos de la vida real, los siguientes patrones son válidos: aproximadamente el 68% de los datos de la muestra se encuentran dentro de una desviación

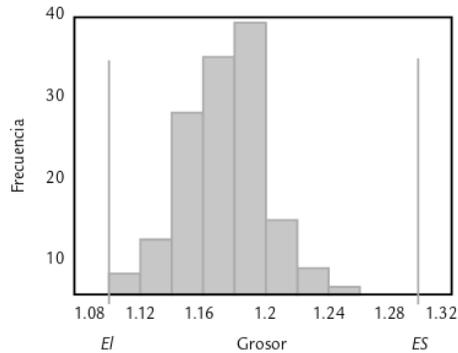
estándar de la media en cualquier dirección, aproximadamente. El 95% se encuentra dentro de dos desviaciones estándar y aproximadamente el 99,7% se encuentra dentro de tres desviaciones estándar. Estos principios nos ayudan a comprender hasta qué punto los puntos de datos se desvían del promedio y brindan información valiosa sobre la distribución del conjunto de datos.

Los intervalos mencionados anteriormente solo son aplicables a los datos de muestra y no necesariamente se aplican a toda la población o proceso. Sin embargo, si los intervalos se calculan utilizando el promedio y la desviación estándar de toda la población o proceso, entonces serán válidos para toda la población. Por tanto, si se dispone de muestras aleatorias grandes y representativas, los intervalos anteriores pueden proporcionar una comprensión aproximada de lo que ocurre en el proceso.

El teorema de Chebyshev se aplica a todo tipo de datos, independientemente de su comportamiento o distribución. La regla empírica, por otro lado, se derivó mediante observación empírica y es más aplicable a casos que exhiben una distribución normal o de campana. Sin embargo, ambos conceptos ilustran efectivamente cómo la desviación estándar mide la variabilidad alrededor de la media. En el caso de los datos del espesor del disco, la aplicación de la regla general revela que casi el 99% de las mediciones se encuentran dentro del rango de 1.098 a 1.260 mm. Este cálculo se deriva de restar 3 veces la desviación estándar (0,027) de la media (1,179) para obtener el límite inferior de 1,098 y sumar 3 veces la desviación estándar a la media para obtener el límite superior de 1,260. Al comparar estos límites con las especificaciones (EI = 1,10 y ES = 1,30), resulta evidente que 1,098 cae por debajo de la especificación inferior, lo que indica que el proceso de inyección tiene una capacidad limitada para cumplir con las especificaciones.

Límites reales o naturales

En un proceso, los límites reales o naturales representan el rango dentro del cual puede variar el resultado del proceso; se determinan mediante la fórmula: Límite real inferior (LRI) = $\mu - 3\sigma$ y Límite real superior (LRS) = $\mu + 3\sigma$. El cálculo de estos límites se basa en la regla empírica, que se alinea con las propiedades de la distribución normal. En un estudio de capacidad, estos límites reales se comparan con las especificaciones de calidad para una característica particular. Por ejemplo, si la característica de calidad debe tener dimensiones de 800 ± 5 , la especificación inferior sería 795 y la especificación superior sería 805. Si se sabe que la media y la desviación estándar para esta característica son $\mu = 800,6$ y $\sigma = 1,2$ respectivamente, los límites reales serían: $LRI = 800,6 - 3(1,2) = 797,0$ y $LRS = 800,6 + 3(1,2) = 804,2$. Por lo tanto, se espera que esta característica de calidad oscile entre 797,0 y 804,2, con una media de 800,6. Al comparar estos límites con las especificaciones, si los límites reales caen dentro del rango especificado, se puede concluir que el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones dadas.



Si insertamos las especificaciones de espesor del disco de 1,10 y 1,30 en el histograma podemos ver que la variación de los datos (amplitud del histograma) está ligeramente por debajo de las especificaciones. Sin embargo, en comparación con el espesor óptimo de 1,20, el proceso se desplaza moderadamente hacia la izquierda, lo que ya era evidente al calcular el promedio. Además, el espesor del disco no es satisfactorio porque el lado izquierdo del histograma debería estar más alejado de la especificación inferior ($EI = 1,10$), lo cual no es el caso. Es importante señalar que si bien no existen datos por debajo del IE, debemos considerar que este estudio se realizó con una muestra. Por lo tanto, si se recopilan más datos, es muy probable que se encuentren mediciones fuera de las especificaciones, como lo sugiere la cola izquierda extendida de la curva hipotética que suaviza el histograma. Con base en este análisis, el primer paso para mejorar la capacidad del proceso de inyección del disco es mejorar su centrado.

El ejemplo anterior ilustra claramente los beneficios de utilizar un histograma. No solo nos permite determinar fácilmente la tendencia central de los datos, sino que también mejora nuestra comprensión de la variabilidad y promueve el pensamiento estadístico. Con solo un vistazo rápido al histograma, podemos obtener información sobre la capacidad general de un proceso, lo que nos ayuda a tomar decisiones informadas. Además, se evita depender únicamente de datos promedio o raros, y podemos identificar patrones o distribuciones únicos en los datos. En las siguientes secciones, profundizaremos en las complejidades de interpretar un histograma para comprender plenamente su significado.

El histograma y su interpretación

Al crear un histograma, es importante tener una cantidad sustancial de datos, idealmente más de 100 puntos de datos, para garantizar que represente con precisión el proceso que se analiza durante un período de tiempo específico. En consecuencia, es recomendable tener en cuenta los siguientes factores a la hora de interpretar el histograma:

- En primer lugar, es importante analizar la tendencia central de los datos. Se trata de identificar las barras en el eje horizontal o escala de medición que representan las

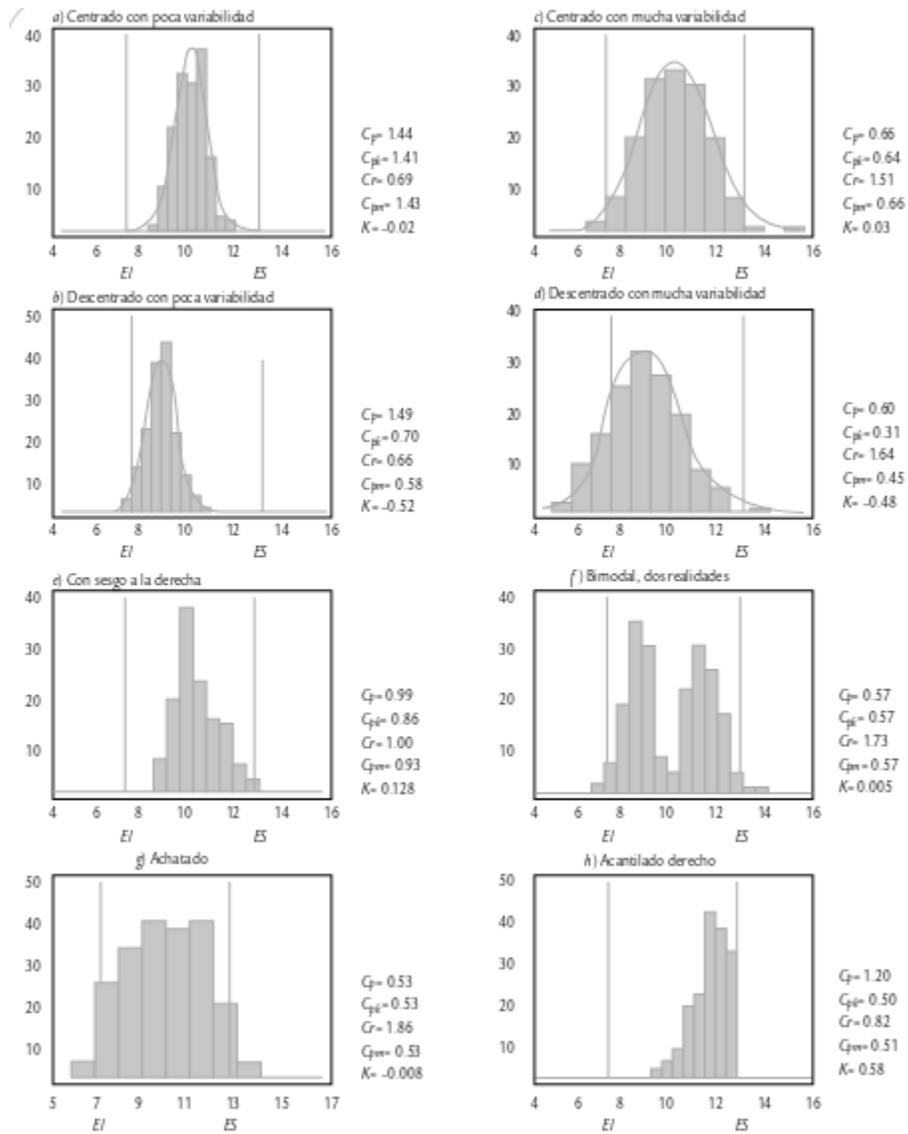
frecuencias más altas. En el histograma anterior se puede observar que una porción importante de las mediciones se encuentran dentro del rango de 1,14 a 1,20 mm.

- Centrarse en procesos. Para ello es necesario confiar en el punto anterior y observar la posición central del cuerpo del histograma con respecto a la calidad y características técnicas óptimas. Por ejemplo, en el histograma anterior las regiones a) y b) muestra los procesos centrados, donde la primera representa poca variabilidad y la segunda muestra lo contrario. Mientras que en las áreas b) y d) se observan procesos descentrados, el primero con pequeña variabilidad, el segundo con grande. Incluso si se cumplen las especificaciones, si el proceso no está dirigido, la calidad del producto no es la adecuada porque cuanto más se aleje del óptimo peor será la calidad. Por lo tanto, si se tiene un proceso descentralizado, se realizan los ajustes o cambios necesarios para centralizarlo.
- Para evaluar la variabilidad de un proceso, es importante comparar el rango de especificaciones con el rango representado en el histograma. Para garantizar que la dispersión esté dentro de límites aceptables, el ancho del histograma debe ajustarse cómodamente a las especificaciones dadas. Los ejemplos proporcionados en la figura demuestran este concepto, con las secciones a) y b) mostrando una variación mínima, mientras que las secciones c) y d) muestran el patrón opuesto.
- Para analizar la forma de un histograma, es importante considerar la aparición de una distribución en forma de campana. Este tipo de distribución se observa comúnmente en las salidas de los procesos y comparte características similares con la distribución normal. En las regiones a), b), c) y d), es evidente que la distribución en forma de campana es el resultado más común y esperado. Sin embargo, cuando la distribución se desvía de esta forma, podría indicar que está teniendo lugar un evento importante en el proceso, que puede tener un impacto negativo en la calidad. Por tanto, resulta fundamental evaluar si la forma del histograma difiere mucho de la forma de campana. Hay varias formas que no se alinean con una distribución de campana, y estas formas atípicas deben observarse e investigarse más a fondo.
- El histograma en la región e) muestra una distribución sesgada, donde la cola derecha de la distribución es más grande que la izquierda. Esto indica que existe un sesgo en la variable de salida. Este sesgo puede deberse a factores como el desgaste y los desequilibrios en el proceso, procedimientos de medición defectuosos o ciertos desempeños excepcionales del proceso donde valores inusualmente altos solo aparecen en un lado de la distribución. Es importante señalar que ciertas características de calidad, como la vida útil y la resistencia a la fatiga, naturalmente presentan sesgos. Para determinar si una distribución sesgada significa una situación especial que debe abordarse, es aconsejable compararla con la distribución de la misma característica o variables similares de un período de tiempo

diferente. En general, si se sospecha que algo excepcional está causando la distribución sesgada, se recomienda realizar más investigaciones para confirmar su presencia.

- Distribución multimodal. En la región f) se puede ver un histograma que muestra claramente dos modos o picos que muestran dos tendencias centrales diferentes. Este tipo de distribución con dos o más modas refleja la presencia de dos o más realidades o condiciones diferentes. Algunas situaciones que conducen a la distribución multimodal:
 - Una de las principales razones de las variaciones significativas en las materias primas utilizadas en el proceso es el hecho de que provienen de diferentes proveedores o que existe una variabilidad excesiva dentro de la oferta del mismo proveedor. Esto da como resultado diferencias notables entre lotes del producto final.
 - Cuando en el proceso intervienen varios operadores, cada uno con su propio conjunto de criterios y métodos de trabajo.
 - El histograma muestra mediciones de la variable de salida realizadas por varios individuos o instrumentos. Como resultado, durante el proceso se utilizaron diferentes estándares o instrumentos insuficientemente calibrados.
 - El procedimiento, si bien produjo los resultados de la distribución multimodal, funcionó en circunstancias distintas (y cada modo tenía su propio conjunto de condiciones).
 - En la mayoría de los casos, cuando una distribución es multimodal, significa que hay factores claros y distintos que contribuyen a la variación y que deben identificarse y abordarse. Esto es vital para mejorar la eficacia y eficiencia del proceso relacionado. Para identificar estos factores, un enfoque eficaz es analizar los datos por separado en función de varios factores, como diferentes lotes de materias primas, operadores, instrumentos de medición, turnos de producción o días específicos. Al comparar los resultados obtenidos de estos análisis separados, es posible determinar si existen variaciones o discrepancias sustanciales que deban abordarse.
- El histograma en la región g) muestra una distribución extremadamente plana, que carece de la típica forma de campana. Este tipo de distribución puede ocurrir debido a factores similares a los que causan una distribución multimodal, aunque las diferencias entre los modos son menos pronunciadas. No obstante, estas variaciones pueden afectar significativamente la eficiencia de un proceso y, por lo tanto, deben identificarse y rectificarse utilizando el enfoque sugerido.
- El histograma en la región h) muestra una distribución con un acantilado distinto en el lado derecho. Este acantilado representa una caída o ruptura repentina en el declive de la distribución. Varios factores podrían contribuir a la presencia de un acantilado, incluida la

exclusión de artículos que no cumplan con las medidas mínimas o excedan las máximas después de someterse a una inspección del 100% (como se muestra en la figura). Otras causas potenciales pueden incluir problemas con el equipo de medición, errores en la medición o inspección, o juicios sesgados de los inspectores que tienden a aceptar artículos que casi cumplen con los requisitos y registran la medición mínima aceptable. Generalmente, un acantilado se considera anormal y es importante investigar su causa subyacente.



- Datos raros o atípicos. Los histogramas facilitan la identificación de un pequeño número de mediciones muy extremas o atípicas porque una o más barras pequeñas aparecen completamente separadas o aisladas del resto de las barras. Los datos poco comunes reflejan circunstancias especiales que deben investigarse por posibles razones:
 - El motivo de los datos incorrectos podría atribuirse a varios factores, como imprecisiones en el proceso de medición, errores cometidos durante el registro o errores cometidos durante la entrada de datos en el sistema informático.
 - La medición se realizó sobre un objeto o persona que no está incluido en el mismo grupo o población que los demás en el proceso.
 - Si ninguno de los dos escenarios anteriores puede explicar la medición, entonces se debe atribuir a un hecho poco común o excepcional. En otras palabras, en el momento de la medición, se estaba produciendo una situación única o extraordinaria dentro del proceso
- La estratificación puede ser una técnica útil cuando falta una forma específica en un histograma, pero hay una cantidad significativa de variación, lo que indica una baja capacidad del proceso. Al crear histogramas separados para diferentes fuentes, como máquinas, proveedores, lotes, turnos u operadores, se puede obtener información valiosa sobre qué fuente específica puede estar causando problemas. Este enfoque se alinea con los puntos anteriores mencionados y se recomienda encarecidamente utilizar histogramas y analizarlos en detalle al estudiar el resultado de un proceso. Al hacerlo, se pueden identificar situaciones problemáticas y desarrollar posibles soluciones. Además, este método proporciona una forma concreta de transformar los abundantes datos y mediciones de procesos en información procesable para la toma de decisiones. Sin embargo, es esencial garantizar que el histograma se obtenga con precisión, particularmente en términos de seleccionar el número apropiado de clases y administrar el volumen de datos.

A pesar de ser una herramienta fundamental para analizar el desempeño de los procesos, el histograma tiene ciertas limitaciones:

- El histograma no tiene en cuenta el período de tiempo durante el cual se recopilaron los datos. Como resultado, resulta difícil identificar patrones o tendencias que puedan haber ocurrido a lo largo del tiempo. En consecuencia, no es una herramienta eficaz para estudiar la estabilidad de un proceso en el tiempo, que se analiza mejor utilizando gráficos de control.
- El uso de esta técnica no es el más adecuado cuando se trata de comparar prácticamente múltiples procesos o grupos de datos. En tales casos, se considera más apropiado y eficaz el diagrama de caja o el diagrama de media.

- La forma de un histograma está influenciada por la cantidad de clases o barras que contiene. Se recomienda analizar el histograma con un número de clases ligeramente menor y un número de clases ligeramente mayor que el sugerido inicialmente por el software. Esto se hace para garantizar que se puedan observar posibles variaciones o desviaciones de la norma.

La aplicación del control estadístico

En los últimos años, ha habido un aumento significativo en la investigación y los avances tecnológicos en el sector industrial. Este crecimiento puede atribuirse a la búsqueda de la estabilidad del proceso, lo que a su vez ha llevado a la producción de productos seguros y de alta calidad. Las empresas que son capaces de alcanzar mayores niveles de productividad también experimentan una mayor generación de oportunidades de empleo y estabilidad del mercado. Además, estas empresas pueden satisfacer a sus clientes reduciendo los costos de producción.

En la actualidad, existe una amplia gama de herramientas que pueden aprovecharse para lograr posibles mejoras y diagnósticos. Si bien, en medio de esta plétora de opciones, las técnicas estadísticas emergen como una herramienta destacada e indispensable. A lo largo de numerosos años, estas técnicas se han perfeccionado y mejorado, lo que les permite contribuir significativamente a la optimización de los sistemas operativos. Además, estas técnicas estadísticas han desempeñado un papel fundamental en el aumento de la competitividad de los productos manufacturados en el mercado.

Así que la implementación de un control estadístico de procesos dentro de una empresa garantiza la estabilidad del proceso y minimiza la variabilidad. Simplemente cumplir los requisitos necesarios ya no es suficiente; en cambio, cuanto mayor es la reducción en la variabilidad del proceso, mayor será el desempeño de la empresa, lo que resulta en una imagen positiva en el mercado y una ventaja competitiva en términos de entrega de productos excepcionales. Una herramienta importante que destaca es la utilización de métodos estadísticos. Estas técnicas se han perfeccionado y utilizado durante muchos años, permitiendo no sólo mejorar los sistemas operativos sino también hacer que los productos manufacturados sean más competitivos en el mercado.

Una herramienta frecuentemente utilizada en este ámbito es el Control Estadístico de Procesos (CEP), que abarca la recopilación, examen y comprensión de datos, así como el establecimiento de estándares, comparaciones de desempeño, identificación de desviaciones, todo con el objetivo de mejorar las actividades y asegurar el control de calidad en la producción de bienes, prestación de servicios e identificación de defectos.

Incorporar el uso de CEP no sólo asegura la adquisición de productos de mayor calidad sino que también conlleva una disminución de costos, debido principalmente a dos factores:

inspección por muestreo y reducción en las tasas de rechazo. La selección de muestras más pequeñas en comparación con toda la población ayuda a reducir costos y sorprendentemente proporciona una representación más precisa de las características generales de la población. Asimismo, la implementación de CEP da como resultado una disminución en el número y proporción de piezas defectuosas que se producen en la fábrica, gracias a las mejoras continuas en la línea de producción. Estas ventajas contribuyen aún más a la reducción de costes.

El sistema de Acciones Correctivas y Preventivas (CEP) está diseñado para abordar de manera proactiva problemas potenciales y garantizar que los procesos funcionen de acuerdo con el plan y dentro de los estándares de calidad. Al identificar y abordar cualquier desviación de los resultados esperados, el CEP ayuda a mantener un estado de control estadístico. Este sistema no sólo permite tomar acciones correctivas inmediatas, sino que también ayuda a evitar que se produzcan no conformidades en primer lugar. En esencia, el CEP desempeña un papel crucial para garantizar que los procesos funcionen sin problemas y cumplan con las especificaciones de calidad deseadas.

La utilización de esta herramienta particular permite adquirir conocimientos sobre el comportamiento de un proceso y hacer predicciones sobre su desempeño. Este comportamiento se examina considerando diversas medidas asociadas al mismo, teniendo en cuenta también los conceptos de estabilidad y capacidad. Un proceso se considera estable cuando puede replicarse de manera consistente. Esta estabilidad es crucial ya que nos permite anticipar el desempeño del proceso en instancias futuras y formular planes realistas. Así, la capacidad de predecir resultados es fundamental para mantener el control estadístico. Por otro lado, un proceso sólo puede considerarse eficaz si es estable y logra con éxito todos los objetivos y metas marcados por la empresa y el cliente. Es importante señalar que todos los procesos están sujetos a variaciones en su comportamiento. Por lo tanto, un proceso estable no es aquel que carece de variaciones, sino uno que exhibe variaciones aceptables dentro de límites predecibles, demostrando así la repetibilidad de su comportamiento.

En las fábricas es bastante frecuente tener procesos industriales que no están optimizados en términos de eficiencia. Sin embargo, el Proceso de Evaluación Continua (CEP) ofrece diversas herramientas para monitorear estos procesos y posteriormente mejorarlos. El seguimiento requiere muestreos periódicos y garantizar un tamaño de muestra adecuado. El principal beneficio de esta herramienta es la provisión de retroalimentación en tiempo real sobre el proceso, que debe ser continua y basada en análisis estadístico.

Los datos recopilados sirven como vía principal para realizar el estudio, ya que es a través de estos datos que obtendremos información sobre las acciones adecuadas a tomar. Además, es crucial para nosotros determinar los datos específicos que deben recopilarse, incluso si la información se ha recopilado con precisión, la credibilidad del trabajo quedará en duda si los métodos de medición y presentación de informes no son fiables.

Al recopilar datos, es fundamental garantizar que se obtenerlos en un formato claro y fácil de comprender, lo que implica registrar con precisión el origen de los datos, ya que los datos con orígenes no identificados son esencialmente inútiles. De igual forma, es importante registrar los datos de una manera que permita una fácil utilización. Por lo que las hojas de registro estandarizadas se utilizan comúnmente en diversas industrias para mantener la organización de la información. Aunque los datos de muestreo pueden parecer sencillos, a menudo involucran a varias personas que pueden introducir errores. Por lo tanto, la estandarización de las hojas de registro es necesaria ya que permite registrar los datos mediante marcas o símbolos simples, facilitando una organización inmediata sin necesidad de modificaciones manuales. Así, estas hojas estandarizadas sirven como herramientas poderosas para registrar datos de manera eficiente.

Se pueden obtener datos de un proceso donde todos los factores (personas, máquinas, materias primas, métodos, etc.) son constantes, entonces todos los datos tendrán el mismo valor. Pero en realidad eso no siempre es posible. Si bien hay factores que se determinan que sean constantes, no son exactos y sus valores nunca son los mismos, pero eso no quiere decir que se determinen de forma caótica. Los valores cambian constantemente, pero siguen una distribución constante. Por lo tanto, el control estadístico de procesos es un método estadístico ampliamente utilizado para garantizar una mejor calidad del proceso. Todos los procesos están sujetos a algún grado de variación. acompaña.

El concepto de variabilidad es importante en diversos campos y disciplinas, incluidas la biología, la psicología, la sociología y la educación. En biología, por ejemplo, ayuda a los científicos a comprender la diversidad de especies y cómo los distintos organismos se adaptan a sus entornos. En psicología, el concepto de variabilidad es crucial para estudiar las diferencias individuales en los rasgos de personalidad, las capacidades cognitivas y los trastornos mentales. Así, también se tiene que la variabilidad es un hecho que se observa con frecuencia en los procesos industriales y abarca una variedad de factores. Se manifiesta en los indicadores de desempeño de las operaciones del proceso, así como en los indicadores de calidad de los productos resultantes. Es importante destacar que es crucial mantener el control sobre el proceso para gestionar y mitigar eficazmente el impacto de esta variabilidad.

En cualquier proceso de producción, independientemente de sus características únicas, existen múltiples factores que contribuyen a la variabilidad. Aunque el proceso esté bien ajustado, siempre habrá diferencias entre los productos, ya sean significativas o menores. Para controlar eficazmente el proceso y reducir la variabilidad, es crucial investigar las causas fundamentales que dan lugar a estas diferencias. El paso inicial de cualquier investigación es diferenciar entre causas comunes y causas especiales. No distinguir entre los dos puede resultar en una mayor variabilidad y mayores costos. Por lo tanto, tratar las causas comunes como si fueran causas especiales puede conducir a un aumento indeseable de la variación y a gastos innecesarios.

Las causas comunes son inherentes al proceso y no pueden evitarse. Cuando el proceso se ve afectado únicamente por causas comunes, las variables del proceso siguen una distribución normal. Por otro lado, las causas especiales pueden identificarse y eliminarse a medida que surgen, ya que son causadas por razones específicas e identificables. Sin embargo, si estas causas especiales pasan desapercibidas, pueden pasar a formar parte del producto final, dando lugar a la aceptación de defectos que deberían haber sido rechazados. Además, pasar por alto causas especiales también significa perder oportunidades de mejora del producto. El Control de Procesos Experimentales (CEP) se emplea comúnmente para gestionar las variabilidades del proceso, siendo su objetivo principal mantener el control sobre el proceso. Esto se logra identificando y eliminando cualquier fuente de variación que no esté asociada con el proceso en sí.

El análisis de capacidad del proceso es una herramienta estadística que se utiliza para determinar si un proceso es capaz de producir productos o servicios dentro de límites específicos. Implica recopilar datos sobre el desempeño del proceso y analizarlos para determinar la capacidad del proceso para cumplir con los requisitos del cliente. Este análisis ayuda a identificar cualquier variación o desviación de los resultados deseados y proporciona información sobre cómo se puede mejorar el proceso para lograr mejores resultados. Al cuantificar la capacidad del proceso, las organizaciones pueden tomar decisiones informadas y tomar las acciones adecuadas para garantizar que sus procesos cumplan consistentemente con las expectativas de los clientes. El Análisis de Capacidad de Procesos es una herramienta valiosa en la gestión de la calidad y los esfuerzos de mejora continua. Permite a las organizaciones monitorear y controlar sus procesos de manera efectiva, reducir el desperdicio y mejorar la calidad general del producto o servicio.

El índice de capacidad del proceso es una herramienta matemática que cuantifica la relación entre los parámetros del proceso ((μ, σ)) y las especificaciones del proceso (LSE, VN, LIE), con el objetivo de establecer una forma estandarizada de evaluar el desempeño del proceso. Su propósito es facilitar la comunicación y la comprensión al evaluar la capacidad de un proceso.

- El símbolo μ representa el promedio de un proceso.
- El símbolo σ representa la varianza de las variables de calidad del proceso. Esta varianza se refiere a la medición de qué tan dispersos están los valores de estas variables con respecto al valor promedio o medio. En otras palabras, cuantifica el nivel de variabilidad o inconsistencia en las variables de calidad del proceso. Un valor de varianza más alto indica un mayor grado de dispersión, lo que significa que las variables de calidad del proceso tienen un rango más amplio de valores. Por el contrario, un valor de varianza más bajo sugiere que las variables de calidad del proceso están más estrechamente agrupadas alrededor del valor medio, lo que indica un mayor nivel de consistencia. Al calcular y analizar la variación de las variables de calidad del proceso, las organizaciones pueden obtener información sobre el rendimiento general y la confiabilidad de sus procesos, lo que

les permite identificar áreas de mejora e implementar medidas adecuadas para mejorar la calidad y la eficiencia de sus operaciones.

- LSE se refiere al límite superior que se establece como especificación para una medición o parámetro en particular. Representa el valor máximo que se considera aceptable o dentro del rango deseado.
- LIE se refiere al límite establecido para la calidad o el rendimiento mínimo aceptable de un producto o servicio en particular. Se establece como punto de referencia para garantizar que el producto o servicio cumpla con los requisitos mínimos y no caiga por debajo de los estándares especificados. En otras palabras, el LiE actúa como un umbral que debe alcanzarse para que el producto o servicio se considere satisfactorio y aceptable. Al establecer un límite de especificación más bajo, las organizaciones pueden garantizar que sus ofertas cumplan con las expectativas básicas de los clientes y evitar entregar productos o servicios deficientes.
- El término "VN" se refiere al valor nominal de algo, que es el valor especificado o declarado de un objeto o activo. Así, VN representa el valor o precio asignado a un artículo en particular, generalmente en función de sus características, calidad o cualquier otro factor relevante. Es importante tener en cuenta que el VN puede no siempre ser el mismo que el valor de mercado o el valor real del objeto, ya que a menudo está determinado por diversos factores externos, como la oferta y la demanda, las condiciones económicas y el valor percibido por los compradores potenciales o consumidores. Por lo tanto, el VN sirve como punto de referencia o punto de referencia para evaluar el valor relativo de un artículo dentro de un contexto o mercado específico.

Los índices Cp y Cpk son herramientas esenciales para evaluar la capacidad del proceso y garantizar que los productos cumplan con las especificaciones del cliente. Su cálculo y análisis permiten a las organizaciones tomar decisiones basadas en datos, mejorar procesos y lograr mayores niveles de calidad y satisfacción del cliente. Los índices Cp y Cpk son herramientas estadísticas que se utilizan para medir la capacidad de un proceso para cumplir con las especificaciones del cliente. Estos índices proporcionan información valiosa sobre el rendimiento y el potencial de un proceso, lo que permite a las organizaciones tomar decisiones informadas y mejorar sus procesos.

Por otro lado, Cpk es una medida de la capacidad del proceso que toma en cuenta el desplazamiento medio del proceso además de su dispersión. Compara la distancia entre la media del proceso y el límite de especificación más cercano a la dispersión del proceso. Cpk se calcula tomando el valor mínimo de dos ratios: uno que mide la capacidad del proceso para producir artículos dentro del límite superior de especificación y otro que mide su capacidad para producir artículos dentro del límite inferior de especificación. De manera similar a Cp, un valor de Cpk de

1 indica que el proceso apenas es capaz de cumplir con las especificaciones, mientras que valores mayores que 1 indican una mayor capacidad.

Los índices Cp y Cpk proporcionan a las organizaciones medidas cuantitativas para evaluar y comparar diferentes procesos. Al analizar estos índices, las organizaciones pueden identificar áreas de mejora, optimizar procesos y garantizar que los productos cumplan constantemente con los requisitos de los clientes. Además, estos índices se pueden utilizar para monitorear el desempeño del proceso a lo largo del tiempo y detectar cualquier desviación de los niveles de capacidad deseados. Los índices Cp, también conocidos como índices de capacidad del proceso, evalúan la extensión de la variación del proceso en relación con los límites de tolerancia establecidos por el cliente. Se calculan dividiendo la diferencia entre los límites de especificación superior e inferior por seis veces la desviación estándar del proceso. Esta relación indica la capacidad del proceso para producir productos dentro de los límites especificados, y los valores más altos indican una mejor capacidad. Un índice Cp de 1 significa que el proceso es apenas capaz de cumplir con las especificaciones, mientras que valores mayores que 1 sugieren que el proceso tiene una capacidad mayor.

Para cumplir mejor con el propósito de predecir con precisión la cantidad de productos de proceso que cumplirán con las especificaciones requeridas, se desarrolló el índice Cp, también conocido como índice de capacidad potencial de proceso. Este índice evalúa la variabilidad permitida del proceso midiendo la variabilidad real observada en el proceso. La variabilidad está directamente asociada con los límites especificados, aunque la situación general del proceso no se tiene en cuenta en la definición o cálculo de Cp.

$$C_p = \frac{\text{Dispersión permitida del proceso}}{\text{Dispersión real del proceso}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Los gráficos de control

Es una representación gráfica de un proceso que muestra una línea central, límites de control por encima y por debajo de la línea central y valores característicos trazados en el gráfico. Los límites de control sirven como límites para el proceso, y si todos los valores trazados caen dentro de estos límites sin ninguna tendencia específica, se considera que el proceso está bajo control. Sin embargo, si alguno de los puntos queda fuera de los límites de control o si hay un patrón inusual en la disposición de los puntos, se considera que el proceso está fuera de control.

Las variaciones en un proceso o producto se pueden atribuir a dos tipos distintos de causas:

- Una causa especial se refiere a una variación que seguramente ocurrirá y que, en última instancia, es perjudicial para un proceso. Esta variación se produce independientemente de si la operación se realiza utilizando materias primas o métodos estandarizados.
- Una causa común se refiere a una fuente de variación que puede identificarse y especificarse. Implica que hay factores importantes que deben examinarse y, si bien puede prevenirse, no debe subestimarse. Cuando los puntos de datos quedan fuera de los límites de control establecidos o exhiben un patrón distintivo, indica que el proceso no está operando dentro de parámetros aceptables y se considera que está fuera de control.

Evaluar un proceso inestable que exhibe causas especiales no tiene sentido porque solo refleja un momento específico en el tiempo y no demuestra un comportamiento consistente. Sin embargo, una vez eliminadas todas las causas especiales, el proceso funcionará bajo control estadístico. Un proceso en control estadístico o estable significa que su variabilidad se atribuye únicamente a causas comunes y sigue un patrón predecible a lo largo del tiempo. Sin embargo, esta calidad estable del proceso no garantiza necesariamente que pueda producir de manera consistente piezas que cumplan con las especificaciones del cliente o del proyecto. Una vez que se han eliminado las causas especiales, se puede evaluar la verdadera capacidad del proceso comparando su variabilidad resultante de causas comunes con los requisitos especificados.

Capítulo 2

Control de Procesos

El control estadístico de los procesos

La metodología de "Control estadístico de procesos" se originó a finales de la década de 1920 en los Laboratorios Bell, gracias a la brillante mente de W. A. Shewhart. En su libro "Control económico de la calidad de los productos manufacturados" publicado en 1931, Shewhart estableció un estándar que sería seguido por otras figuras influyentes en el campo como Joseph Juran y W.E. Deming. Sorprendentemente, incluso después de más de 70 años, el libro de Shewhart continúa cautivando a los lectores con su relevancia y enfoque innovador. A pesar de las limitaciones tecnológicas de esa época, el ingenio de Shewhart brilla cuando presenta métodos efectivos para resolver problemas numéricos.

Desafortunadamente, Shewhart a menudo sólo es reconocido por su creación de gráficos de control, como el gráfico X-R. Sin embargo, es desalentador ver que estos gráficos frecuentemente se usan mal o no se comprenden completamente sus limitaciones. Este mal uso es a menudo el resultado de una falta de conocimiento sobre los fundamentos estadísticos que sustentan estos gráficos. Para abordar esta cuestión, es crucial enfatizar los principios estadísticos discutidos en los párrafos 3 y 5, así como resaltar el problema del sobreajuste en el proceso y las limitaciones de los gráficos de control para detectar desviaciones y cambios en el proceso. Al comprender y respetar estos fundamentos estadísticos, se garantiza el uso preciso y eficaz de los gráficos de control en los procesos de control de calidad.

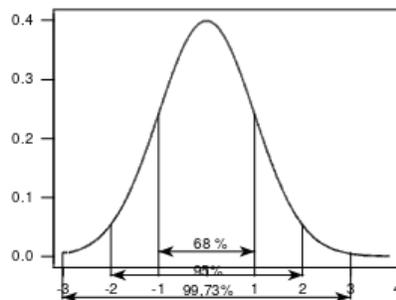
El proceso de fabricación en un entorno industrial está influenciado por numerosos factores impredecibles, lo que da como resultado productos que nunca son exactamente iguales. Esta falta de uniformidad y la presencia de variabilidad es altamente indeseable y se deben hacer esfuerzos para minimizarla o mantenerla dentro de límites aceptables. Una herramienta eficaz para lograr este objetivo es el Control Estadístico de Procesos (CEP). Al implementar CEP durante el proceso de fabricación, es posible mejorar la calidad general de los productos que se fabrican. Además, el CEP permite una comprensión más profunda del proceso de fabricación, ya que el monitoreo regular proporciona información valiosa que potencialmente puede conducir a mejoras en el proceso.

Para una correcta comprensión de control estadísticos de procesos, es necesario tener en consideración los siguientes puntos:

- La distribución normal o también llamada campana de Gauss: La distribución normal se considera ampliamente como el pináculo de las funciones de densidad de probabilidad en el campo de la estadística. Se caracteriza por dos parámetros esenciales, a saber, μ (la

media) y σ (la desviación estándar). Esta distribución muestra una curva distintiva en forma de campana, de ahí su nombre, y demuestra una simetría perfecta en relación con la media, μ . Al examinar varios múltiplos de la desviación estándar, σ , de ambos lados de la media, descubrimos ideas fascinantes sobre la población dentro de estos intervalos. Sorprendentemente, aproximadamente el 68% de la población se encuentra dentro del rango de $\pm 1\sigma$ de la media, μ , lo que ilustra una dispersión relativamente estrecha.

Si ampliamos nuestro análisis a $\pm 2\sigma$ desde μ , observamos que un impresionante 95% de la población se encuentra dentro de esta región, lo que significa una dispersión más amplia. Sin embargo, es el notable rango de $\pm 3\sigma$ alrededor de μ el que encapsula a un asombroso 99,73% de la población, lo que demuestra una dispersión aún más amplia. Estas estadísticas ofrecen información valiosa sobre la distribución de datos y proporcionan una comprensión integral de las características de la distribución normal.



- El teorema de límite central: El teorema del límite central (TLC) establece que cuando una variable aleatoria (va) se forma sumando numerosas causas independientes, cada una de las cuales tiene un impacto mínimo en el resultado general, la distribución de esta variable se aproximará a una distribución normal a medida que aumenta el número de causas. En términos más simples, el TLC explica que si realizamos repetidamente un experimento con muchos factores pequeños e independientes, la distribución resultante de los resultados se parecerá a una curva de campana.

$$X = x_1 + x_2 + \dots + x_n \text{ donde las } x_i \text{ son v.a de media } \mu_i \text{ y varianza } \sigma^2$$

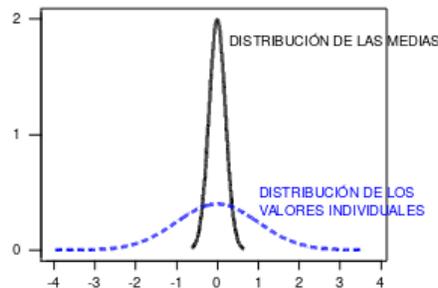
$$\text{Entonces: } X \rightarrow N\left(\sum_{i=1}^n \mu_i, \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma^2}\right)$$

- La distribución de las medias muestrales: Si tenemos una variable aleatoria X que sigue una distribución normal con media μ y desviación estándar σ , y extraemos muestras de

tamaño n de esta distribución, entonces las medias muestrales también seguirán una distribución normal:

$$\bar{x}_m \propto N\left(\mu, \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

Es importante reconocer que el teorema del límite central tiene un impacto significativo en la distribución de las medias muestrales. El TLC establece que, independientemente de la distribución de la población subyacente, la distribución de las medias muestrales tenderá a aproximarse a una distribución normal siempre que el tamaño de la muestra sea suficientemente grande, normalmente con un requisito mínimo de $n \geq 25$. Sin embargo, vale la pena señalar que el tamaño de muestra específico necesario puede variar dependiendo de la asimetría de la distribución.



Las causas comunes y causas asignables o especiales

En los párrafos anteriores se dijo que el proceso de fabricación está influenciado por numerosos factores que pueden variar, como las propiedades del material utilizado, las variaciones de temperatura y humedad, la variabilidad del operador, la repetibilidad de la maquinaria y más. Estos factores pueden afectar las características del producto final, generando variabilidad. Si el proceso se desarrolla con pequeñas oscilaciones en todos estos factores, sin que ningún factor tenga un efecto dominante, entonces se espera que la calidad del producto se distribuya uniformemente según una distribución normal. Estos factores, conocidos como causas comunes, contribuyen a la variabilidad general. Si bien, surge un factor con un impacto significativo, la distribución de la característica de calidad del producto puede desviarse de una distribución normal, indicando la presencia de una causa especial o asignable. Por ejemplo, si un proceso de fabricación pasa de utilizar materias primas de un lote consistente a otro con características muy diferentes, es muy probable que los productos resultantes presenten diferencias notables debido al uso del nuevo lote.

Según su definición, se considera que un proceso se encuentra en estado de control estadístico cuando no existen razones identificables que puedan atribuirse a variaciones en sus resultados. Para determinar si un proceso está bajo control estadístico, se emplea el Control Estadístico de Procesos (CEP), que implica examinar los datos generados por el proceso e identificar las posibles causas que puedan ser responsables de las desviaciones. Este análisis generalmente se facilita mediante el uso de una herramienta gráfica conocida como Gráfico de control. Cuando se determina que un proceso está bajo control estadístico, es posible hacer predicciones sobre el rango dentro del cual se espera que caigan las características de una pieza fabricada.

Condiciones en la aplicación de los gráficos de control

Para que los gráficos de control sean aplicables, es necesario que el proceso muestre un nivel de estabilidad que permita cierto grado de previsibilidad, a pesar de su naturaleza aleatoria. Generalmente, un proceso de naturaleza caótica no se puede predecir ni controlar. En consecuencia, los gráficos de control no son adecuados para tales procesos y sería inútil discutir su capacidad. En cambio, un proceso caótico requiere un análisis en profundidad utilizando técnicas estadísticas avanzadas hasta que se obtenga suficiente conocimiento empírico para comprender los factores que contribuyen a su estabilidad y tomar medidas para eliminarlos.

En lo que sigue se asumirá un cierto grado de estabilidad del proceso. Podemos distinguir dos situaciones:

- El proceso opera según una función de probabilidad que no cambia con el tiempo. Esto significa que el proceso sigue una distribución normal con un promedio y una desviación estándar fijos. Este escenario se considera ideal porque permite el uso de gráficos de control para identificar cualquier factor externo que pueda estar afectando el proceso.
- El proceso está controlado por una función de probabilidad y ciertos parámetros de esta función experimentan ligeros cambios con el tiempo. Un ejemplo de tal proceso sería aquel en el que el valor promedio fluctúa con el tiempo, como una herramienta de corte que se desgasta gradualmente. Técnicamente, este desgaste se consideraría una causa especial de variaciones en el proceso. Sin embargo, si se conoce el ritmo al que se desgasta la herramienta, es posible ajustarlo o compensarlo, dando lugar a un proceso similar al escenario anterior.

Es posible que la naturaleza de un proceso dé como resultado que ciertos factores inherentes de variabilidad ejerzan una mayor influencia, desviándose así de una distribución normal. Por ejemplo, considere la distribución de diámetros en un proceso de perforación. El límite inferior de esta distribución está determinado por el diámetro de la propia broca, mientras que la presencia de incidencias oblicuas durante la perforación puede provocar una cola hacia diámetros

mayores. En tales casos, se considera que el proceso está bajo control estadístico cuando no existen causas externas identificables. Esto implica que el proceso permanece estable, con los parámetros de la distribución constantes, lo que permite hacer predicciones sobre el rango dentro del cual caerán los valores de la característica de respuesta.

Es esencial tener una comprensión integral de los fundamentos tecnológicos de un proceso para obtener información sobre el patrón de distribución probable de los datos. Es imperativo no asumir que los datos seguirán una distribución normal sin verificarlo. En cambio, se deben examinar minuciosamente los datos y, si no se ajustan a la normalidad, implementar técnicas y metodologías especializadas.

Por todos los factores antes mencionados, se puede inferir que cuando un proceso normal está bajo control estadístico, aproximadamente el 99,73% de los elementos fabricados exhibirán una característica de calidad dentro del rango de $\mu - 3\sigma$ a $\mu + 3\sigma$. El valor específico de μ dependerá del punto específico de enfoque dentro del proceso, mientras que σ está determinado por el número y la variabilidad de las causas comunes inherentes al proceso mismo. En consecuencia, el rango de 6σ puede identificarse como la Variabilidad Natural del Proceso o Capacidad del Proceso. En esencia, la capacidad del proceso se define como igual a 6σ .

Es importante enfatizar que la variación natural inherente de un proceso, a menudo representada por la medida estadística 6σ , es independiente de las tolerancias específicas establecidas para ese proceso. Esto significa que incluso si las tolerancias se definen cuidadosamente, seguirá habiendo casos en los que los productos fabricados queden fuera del rango aceptable y se consideren no conformes. Si se pasa por alto este aspecto esencial y se busca la solución ajustando el proceso para que vuelva a estar dentro de la tolerancia, como modificando el centrado o la media, la consecuencia no deseada es en realidad un aumento en la variabilidad general del proceso.

El índice de capacidad del proceso se define como un medio para evaluar la relación entre la capacidad del proceso y el grado de tolerancias que deben cumplirse:

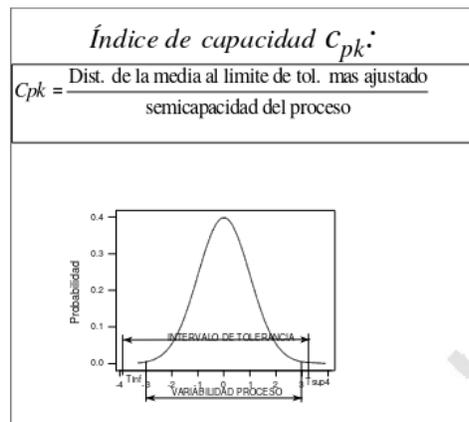
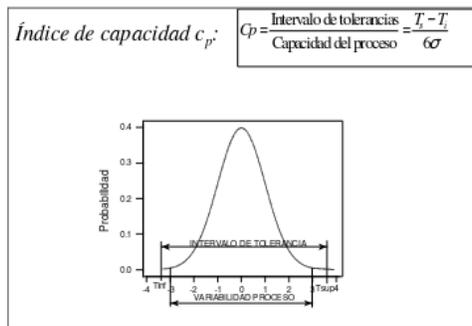
$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6\sigma}$$

Para que la producción cumpla con los estándares deseados, es fundamental que el valor de C_p sea superior a 1.

Si el proceso no estuviera alineado adecuadamente, el valor de este índice representaría de manera inexacta el grado en que las piezas de fabricación caen dentro de las tolerancias aceptables. En tales casos, el índice C_{pk} , que se define de manera diferente, se vuelve más significativo y relevante:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{T_s - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - T_i}{3\sigma} \right\}$$

De esta manera, un proceso competente se caracteriza por tener un valor Cpk mayor que 1. Al extender estos principios a la variabilidad mensurable atribuible a la máquina específica involucrada en el proceso de fabricación, podemos establecer la capacidad de la máquina. Esta capacidad de la máquina se cuantifica a través del índice de capacidad de la máquina, denotado como CM y CMk.



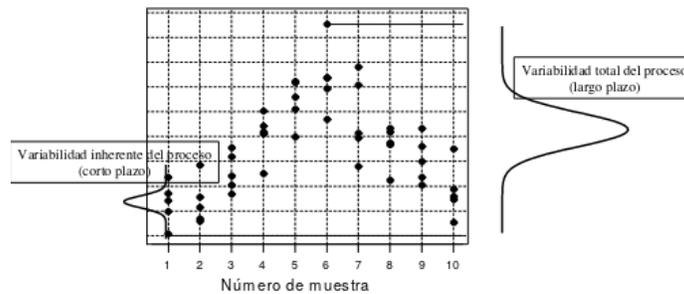
La variabilidad: corto y mediano plazo

Normalmente hay dos tipos de variabilidad involucrados en un proceso de producción:

- La variabilidad inherente de un proceso se refiere a la variación natural que ocurre dentro del sistema. Esta variabilidad es causada por factores comunes y no está influenciada por ningún factor externo específico. Representa la variación que se puede observar entre elementos producidos muy cerca unos de otros, durante un corto período de tiempo.

Algunos investigadores se refieren a este tipo de variabilidad como "ruido blanco", enfatizando su naturaleza aleatoria e impredecible.

- La variabilidad total de un proceso se refiere a la variación global causada por factores tanto comunes como especiales, tomando en consideración factores como el desgaste y los cambios en los lotes de materia prima. Esta variabilidad engloba todas las posibles variaciones que pueden impactar en la calidad de los elementos fabricados recibidos por el cliente durante un largo período de tiempo. En cierta literatura, este componente de variabilidad se denomina "ruido negro".



La potencialidad de un proceso: índice Pp y Ppk

Ha habido un problema de larga data en torno a la selección de una estimación de la variabilidad para calcular Cp y Cpk, lo que genera confusión entre los profesionales. Para aclarar esta cuestión, la introducción de los índices Pp y Ppk ha tenido como objetivo establecer un enfoque estructurado basado en determinados criterios:

- Cp y Cpk se determinan teniendo en cuenta la variabilidad natural del proceso, específicamente la variabilidad a corto plazo. Esto implica considerar la variación observada entre elementos dentro de la misma muestra o aquellos que se encuentran muy próximos.
- Los cálculos para Pp y Ppk implican considerar la variabilidad general del proceso, que incluye factores como la deriva del centrado del proceso y su inestabilidad.

Generalmente se reconoce que Cp suele ser mayor que Pp y que Cpk suele ser mayor que Ppk.

La ecuación del índice es:

$$C_p = \frac{T_s - T_i}{6\sigma_{CP}}$$

$$C_{pk} = \min\left\{\frac{T_s - \mu}{3\sigma_{CP}}, \frac{\mu - T_i}{3\sigma_{CP}}\right\}$$

$$P_p = \frac{T_s - T_i}{6\sigma_{LP}}$$

$$P_{pk} = \min\left\{\frac{T_s - \mu}{3\sigma_{LP}}, \frac{\mu - T_i}{3\sigma_{LP}}\right\}$$

Los símbolos circunflejos, también conocidos como " $\hat{\sigma}$ ", se utilizan para indicar un valor aproximado de la desviación estándar que se está considerando. Es importante mencionar que el uso de los coeficientes P_p y P_{pk} no está universalmente acordado. Si bien son ampliamente aceptados en la industria automotriz (como en QS 9000 / TS 16949), su uso no es tan frecuente en otros campos o sectores.

El grupo homogéneo racional

Al prepararse para recolectar muestras para realizar un estudio de capacidad de proceso o implementar un cuadro de control, es crucial considerar el concepto de grupo homogéneo racional (RHG). Profundicemos en una ilustración para entender mejor. Imaginemos que tenemos una máquina de inyección de piezas de plástico con 16 cabezales. Para definir el gráfico de control establecemos un muestreo horario de 16 unidades, al que denominamos clúster de inyección. Es evidente que los diferentes tamaños de las cabezas pueden introducir una variabilidad que probablemente esté presente. Por lo tanto, al recolectar muestras, es imperativo examinar no sólo la variabilidad entre inyecciones sino también la variabilidad entre cabezas.

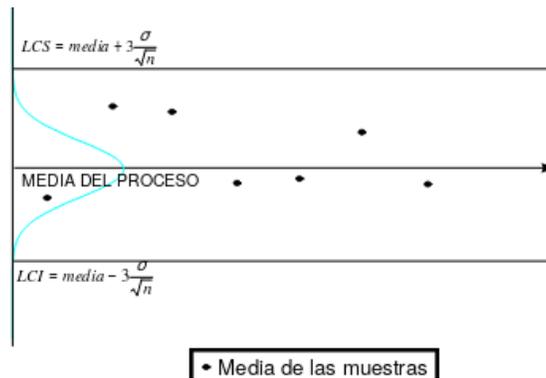
Gráficos de Shewhart: gráficos de control por variables:

Imaginemos una situación en la que se considera que un proceso está bajo control estadístico, es decir, que su distribución sigue una distribución normal con una media de μ y una desviación estándar de σ . Ahora, si tomamos una muestra de tamaño n de este proceso y encontramos que la media muestral queda fuera del intervalo entre $n\sqrt{3}\sigma\mu^-$ y $n\sqrt{3}\sigma\mu^+$ (que se conocen como límites de control inferior y superior, respectivamente), podemos dar dos explicaciones diferentes para justificar esta observación:

- Con base en el modelo teórico, se establece que aproximadamente el 0,27% de las muestras, lo que equivale a 27 muestras de cada 10.000, poseerán una media que queda fuera de este intervalo específico. En el caso que nos ocupa, la muestra que hemos extraído es uno de esos casos.
- Es muy improbable obtener una muestra con estas propiedades si efectivamente el modelo es el supuesto, por lo que parece más razonable creer que el proceso no está bajo control estadístico y por tanto la hipótesis de que se distribuye en ese momento según $N(\mu, \sigma)$ es incorrecto.

Por el contrario, si el valor promedio de la muestra cae dentro del rango del intervalo anterior, no tendremos motivos sólidos para creer que el proceso no se encuentra en un estado de control estadístico (el resultado se alinea con el patrón esperado). Sin embargo, es importante señalar que esto no garantiza con absoluta certeza que el proceso esté efectivamente bajo control estadístico, sino que indica que carecemos de evidencia que sugiera lo contrario.

El control estadístico de procesos se basa en la realización regular de muestreos, donde la media de la muestra se calcula y se representa en un gráfico, similar a la Figura 12. Si la media supera los límites de control, indica la presencia de una causa asignable, lo que sugiere un proceso fuera de control. Este gráfico se conoce comúnmente como gráfico de media o \bar{X} .



El análisis de las muestras no puede limitarse a construir un gráfico de medias. Todavía hay más información que se puede recopilar sobre el comportamiento del proceso. De hecho, la dispersión de los valores muestrales puede proporcionarnos una estimación de la dispersión del proceso y sus cambios en el tiempo. Es bien sabido que la dispersión de una población se puede medir por su desviación estándar σ . Para estimar esta dispersión, los estimadores de muestreo más comúnmente utilizados son la ruta R (que dará como resultado el Gráfico de Rango o Ruta, también conocido como Gráfico R) y la desviación muestral típica S (que dará como resultado el Gráfico de Desviaciones Estándar, o Gráfico S). Antes de continuar, resulta útil revisar algunas propiedades de estas estadísticas para comprender completamente la construcción de estos gráficos.

- El rango o ruta de muestra se refiere a la diferencia entre los valores más altos y más bajos de una muestra. Esta estadística se utiliza para estimar la dispersión de la población de la que se toma la muestra. Una ventaja de esta estadística es que es fácil de calcular, especialmente para muestras pequeñas con $n \leq 8$. Sin embargo, para tamaños de muestra más grandes, tiende a sobreestimar la dispersión de la población. Hay tablas disponibles para procesos normales que proporcionan la función de distribución del estadístico $w = R/\sigma$, conocida como "camino relativo", así como el valor esperado $E(w) = d_2$ y la $\sigma_w = d_3$.

- La desviación típica muestral. Conviene recordar que en los textos se utilizan dos estadísticas diferentes. El primero está definido:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

La expectativa matemática de la varianza muestral es el valor promedio que esperaríamos obtener si calculáramos repetidamente la varianza muestral para una gran cantidad de procesos normales:

$$E(s^2) = \frac{n-1}{n} \sigma^2$$

Como resultado, el estimador de la varianza poblacional σ^2 se inclina hacia un resultado particular, lo que lo hace sesgado. Para abordar este problema, a menudo se utiliza otro estimador conocido como estimador insesgado, que es equivalente a la varianza muestral:

$$s^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

El estimador de la varianza σ^2 no está sesgado y la muestra tiene $n - 1$ grados de libertad, razón por la cual a menudo se prefiere s^* en ingeniería de calidad.

Las variaciones de ambas estadísticas generalmente se calculan para procesos normales:

$$Var(s^2) = \frac{2(n-1)}{n^2} \sigma^4 \quad Var(s^{*2}) = \frac{2}{n-1} \sigma^4$$

Es evidente que el error cuadrático medio de s^2 es menor en comparación con el de s^{*2} . En el campo del Control Estadístico de Procesos, se acostumbra a trabajar con desviaciones estándar en lugar de varianzas. Por lo tanto, se vuelve esencial tener conocimientos sobre $E(s)$, $E(s^*)$, σ_s y σ_{s^*} .

$$E(s) = \sqrt{\frac{2}{n}} \frac{\Gamma(n/2)}{\Gamma[(n-1)/2]} \sigma = c_2 \sigma \quad E(s^*) = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \frac{\Gamma(n/2)}{\Gamma[(n-1)/2]} \sigma = c_4 \sigma$$

En este escenario particular, vale la pena señalar que ambas estadísticas tienden a proporcionar estimaciones inexactas de σ .

$$\sigma_s = \sigma \sqrt{1 - c_2^2 - \frac{1}{n}} \quad \sigma_{s^*} = \sigma \sqrt{1 - c_4^2}$$

Las curvas de operación del gráfico de control

Las curvas operativas o de operación son herramientas valiosas para evaluar qué tan sensible es un gráfico de control a los cambios en el desplazamiento o la variabilidad de un proceso. Al examinar estas curvas, resulta evidente que el simple hecho de que los puntos de datos caigan dentro de los límites de control ofrece poca garantía de que el proceso esté realmente bajo control estadístico. Esto enfatiza las limitaciones de confiar únicamente en gráficos de control. Para ganar más confianza en el control de un proceso, es necesario aplicar técnicas estadísticas más avanzadas que investiguen los factores que influyen en el proceso (conocidas como CTP en la terminología Six Sigma) y apunten a reducir la variabilidad, aumentando en última instancia el nivel de control.

La curva de operación del gráfico de medias

El desplazamiento del proceso se puede medir en unidades de desviación estándar y la deformación se puede determinar comparando las desviaciones estándar final e inicial. En otras palabras, la relación entre estas dos desviaciones estándar puede proporcionar información sobre el alcance de la deformación.

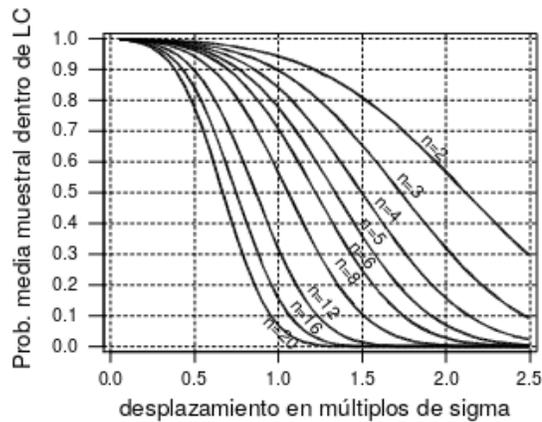
$$d = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_0} \quad \lambda = \frac{\sigma_1}{\sigma_0}$$

La probabilidad de que la media muestral esté dentro de los límites de control depende de los valores de (d, λ) .

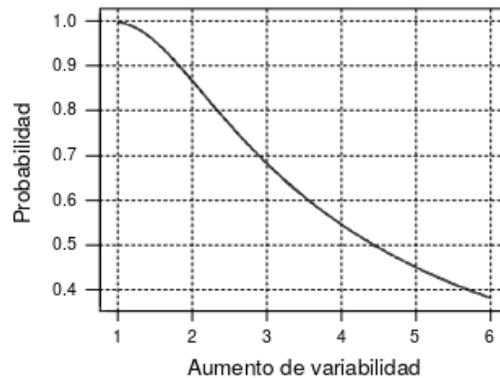
$$P(d, \lambda) = P\left(\frac{\mu_1 - LCI}{\sigma_1 / \sqrt{n}} \leq \frac{\bar{x} - \mu_1}{\sigma_1 / \sqrt{n}} \leq \frac{LCS - \mu_1}{\sigma_1 / \sqrt{n}}\right) = P\left(-\frac{(d+3)\sqrt{n}}{\lambda} \leq \frac{\bar{x} - \mu_0 - d\sigma_0}{\lambda\sigma_0 / \sqrt{n}} \leq \frac{(3-d)\sqrt{n}}{\lambda}\right)$$

Al realizar un análisis exhaustivo de los efectos individuales y trazar las curvas correspondientes para diferentes tamaños de muestra, se hace evidente que el gráfico promedio responde altamente al desplazamiento mientras muestra una sensibilidad mínima hacia las alteraciones en la variabilidad (consulte la Figura 15 y la Figura 16).

SENSIBILIDAD DEL GRÁFICO DE MEDIAS
DESPLAZAMIENTO DEL PROCESO Y DESVIACIÓN TÍPICA INALTERADA



CURVA CARACTERÍSTICA DEL GRÁFICO DE MEDIAS
(AUMENTOS DE VARIABILIDAD)



La curva de operación del gráfico de dispersión

La curva operativa del gráfico de trayectoria se genera aprovechando el estadístico $w = R/\sigma$. La ecuación de la curva será:

$$P(\lambda) = P(D_1\sigma_0 \leq w\lambda\sigma_0 \leq D_2\sigma_0)$$

Cuando se trata del gráfico S, la probabilidad de que una muestra caiga dentro de los límites de control se puede determinar utilizando una medida estadística específica:

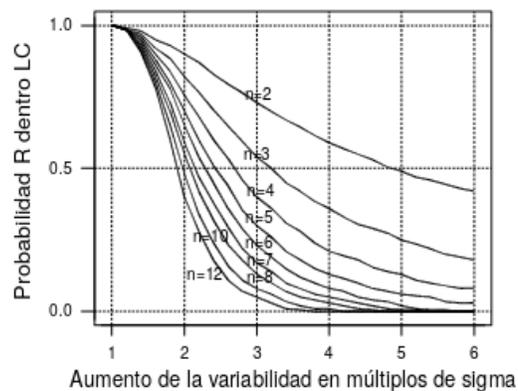
$$\frac{ns^2}{\sigma^2} = \chi_{n-1}^2$$

La curva de operación se puede representar mediante la siguiente ecuación.

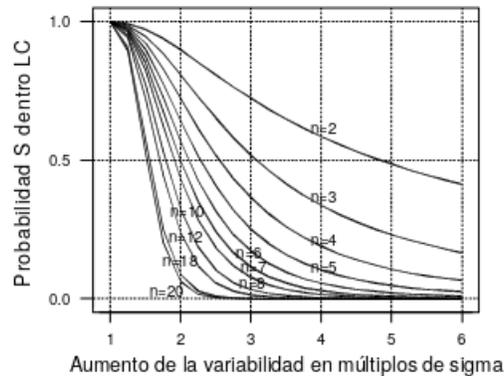
$$P(\lambda) = P\left(\frac{B_1^2\sigma_0^2}{\sigma_1^2}n \leq \frac{s^2}{\sigma_1^2}n \leq \frac{B_2^2\sigma_0^2}{\sigma_1^2}n\right) = P\left(\frac{B_1^2}{\lambda^2}n \leq \frac{s^2}{\lambda^2\sigma_0^2}n \leq \frac{B_2^2}{\lambda^2}n\right)$$

Es evidente que el comportamiento sigue siendo consistente para muestras pequeñas, pero para muestras con un tamaño mayor que 6, la efectividad del gráfico S se vuelve más pronunciada.

SENSIBILIDAD DEL GRAFICO "R" AL AUMENTO DE LA VARIABILIDAD
CENTRADO INALTERADO

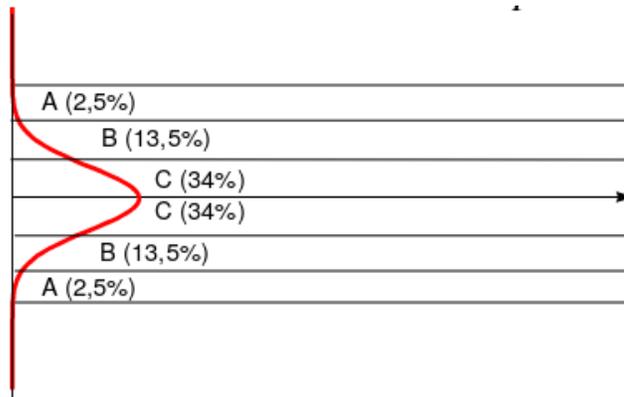


SENSIBILIDAD DEL GRÁFICO "S" AL AUMENTO DE LA VARIABILIDAD
CENTRADO INALTERADO



La interpretación del gráfico de control

Una señal inequívoca de que el proceso se ha vuelto inmanejable es cuando cualquiera de los puntos de datos excede sus límites prescritos. Además, las anomalías en la apariencia de los gráficos también pueden servir como señal de advertencia de que algo anda mal con el proceso. Para profundizar más, si dividimos el gráfico en zonas distintas etiquetadas como A, B y C, la proporción de puntos de datos que caen dentro de cada zona debe alinearse estrechamente con el área correspondiente bajo la curva de campana de Gauss que cada zona representa.



La siguiente tabla consiste en una recopilación integral de reglas comúnmente utilizadas destinadas a analizar exhaustivamente el gráfico promedio y determinar si el proceso está operando dentro de niveles aceptables de control. La inclusión de una columna a la derecha en la tabla sirve para proporcionar información valiosa sobre la probabilidad de encontrar circunstancias específicas en un proceso típico y bien enfocado, que potencialmente podría resultar en una determinación incorrecta. Es crucial que cualquier procedimiento de control de procesos

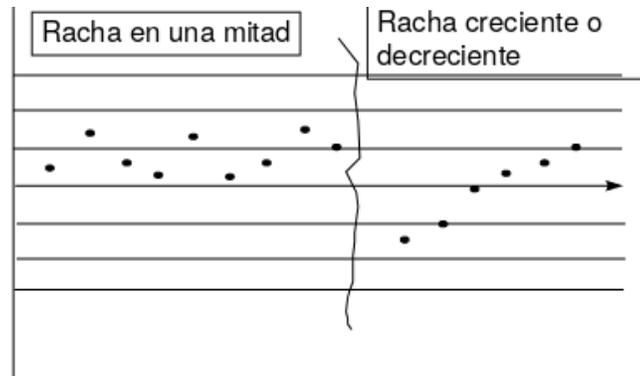
estadísticos (CPE) describa y detalle claramente las diversas indicaciones que deben considerarse indicativas de un proceso fuera de control, garantizando así una toma de decisiones precisa.

Regla	Descripción	Probabilidad
1	Un punto está fuera de los límites de control	0,27%
2	De tres puntos consecutivos, dos o más están en una de las zonas A (la misma).	0,15%
2'	Dos puntos consecutivos están en una de las zonas A (la misma).	0,05%
3	Racha de cinco puntos en la que cuatro están en la misma zona A o B.	0,27%
3'	Racha de cuatro puntos consecutivos que están en la misma zona A o B.	0,06%
4	Racha de siete puntos consecutivos por encima de la línea central.	0,78%
4'	Racha de seis puntos consecutivos por encima de la línea central.	1,56%
4''	Racha de ocho puntos consecutivos por encima de la línea central.	0,39%
5	Racha de seis puntos consecutivos se presentan de manera monótona creciente.	0,14%
6	De diez puntos consecutivos, existe una racha de 8 que se presentan de manera monótona creciente.	0,07%
6'	De nueve puntos consecutivos, existe una racha de 8 que se presentan de manera monótona creciente.	0,02%
6''	De nueve puntos consecutivos, existe una racha de 7 que se presentan de manera monótona creciente.	0,42%
7	Dados dos puntos consecutivos, el segundo está al menos cuatro desviaciones típicas por encima del primero (por ejemplo, el primero está en la zona A inferior y el segundo en la B ó A superior).	0,23%
8	Racha de quince puntos en la zona C	0,30%
9	Racha de catorce puntos alternativos ascendente descendente	?

La interpretación:

- Se deben considerar las siguientes reglas: reglas 1, 2, 3, 3', 4, 4', 4'' y 7. En los casos en que el gráfico de media presente cualquiera de estas indicaciones y no existan anomalías en la S o Gráfico R, es muy probable que el proceso haya sido desplazado. Sin embargo, si tanto el gráfico S como el R también muestran indicaciones, sugiere que el proceso no sólo ha experimentado un aumento en la variabilidad sino que también puede haber cambiado.
- Según las reglas 5, 6, 6' y 6'', es muy probable que el proceso esté sufriendo un patrón cambiante.
- La regla 7 establece que cuando no hay anomalías en el gráfico S o R, sugiere que el proceso es altamente inestable en términos de su centrado. Por otro lado, si el gráfico S o R muestra indicaciones, indica que es probable que el proceso esté experimentando una mayor variabilidad.

- La regla 8 sugiere que si el gráfico S o R indica una disminución en la variabilidad de la muestra, podría ser una indicación de que la variabilidad del proceso también se ha reducido. Por otro lado, si el gráfico S o R no muestra una disminución en la variabilidad de la muestra, podría significar que se están combinando dos poblaciones distintas, lo que da como resultado una distribución bimodal con dos picos distintos.
- La regla 9 destaca la presencia de inestabilidad del proceso tal como se manifiesta en un síntoma particular.



Al considerar el gráfico S o R, es importante considerar los siguientes factores para establecer un conjunto de reglas similares:

- La comprensión de la indicación debe determinarse considerando las características del gráfico S o R. Estos gráficos no significan cambios en el valor promedio del proceso, sino que indican fluctuaciones en su variabilidad, ya sea creciente o decreciente.
- La distribución de S o R no es normal, lo que significa que no sigue una curva típica en forma de campana. Además, no es simétrico, lo que complica aún más la determinación de probabilidades. Por lo tanto, las probabilidades enumeradas en la columna de la derecha no se pueden aplicar a este escenario en particular.

Capacidad de procesos: su estudio

Un estudio de capacidad de proceso es un análisis realizado para medir la capacidad de un proceso para producir productos o servicios de manera consistente dentro de límites específicos.

La investigación de la capacidad del proceso tiene como objetivo comprender:

- La distribución estadística que caracteriza un conjunto de datos puede ser normal o anormal.

- La tendencia de las fluctuaciones en un proceso y los elementos primarios que contribuyen a estas fluctuaciones.
- Comprender los fenómenos físicos y técnicos importantes para el proceso.

El proceso de toma de muestras para evaluar la producción puede variar de muchas maneras. Un requisito común es que el proceso esté bajo control estadístico, lo cual es necesario para calcular índices como cp y cpk que miden la variabilidad a corto plazo. Sin embargo, al intentar estimar la variabilidad total del proceso, también conocida como variabilidad a largo plazo, las muestras deben representar con precisión la producción. Esto implica incluir producciones con diferentes lotes de materia prima, diferentes operadores y múltiples turnos, entre otros factores. Es importante tener en cuenta que la forma en que se toman las muestras afectará en gran medida los resultados obtenidos. Para ayudar a diseñar un estudio de capacidad de proceso e interpretar sus resultados, los siguientes párrafos ofrecen algunas pautas útiles.

En general, un estudio de capacidad de proceso es un enfoque sistemático y analítico para comprender y mejorar la eficiencia de un proceso. Al identificar cuellos de botella y áreas de mejora, las organizaciones pueden optimizar sus procesos y aumentar la productividad y la satisfacción del cliente. Se lleva a cabo un estudio de capacidad del proceso para determinar qué tan eficientemente se está desempeñando un proceso e identificar cuellos de botella o áreas de mejora. El estudio generalmente implica analizar datos y medir varios factores, como el tiempo del ciclo, el rendimiento y la utilización de recursos.

Al realizar un estudio de capacidad de un proceso, es fundamental tener una comprensión integral de las siguientes etapas.

- Comprender los fenómenos físicos y técnicos importantes para el proceso. Por supuesto, no se sabe todo sobre el proceso. Si es así, no tiene sentido hacer otro estudio al respecto. Sin embargo, se suelen conocer algunos aspectos que afectan a los datos y por tanto es necesario considerarlos. Por ejemplo, en procesos de mecanizado, se puede esperar una desalineación de los medios debido al desgaste de las herramientas. Luego de revisar el conocimiento disponible, encontramos que:
 - Identificar posibles fuentes de variabilidad del proceso (por ejemplo, variación del tiempo de mecanizado, variabilidad entre lotes, variabilidad de la posición de las piezas, etc.).
 - Se puede evaluar la probabilidad de que los datos sigan una distribución normal o, a la inversa, si existen factores como asimetrías que indiquen un patrón de distribución diferente.
- Para garantizar datos precisos y confiables, es importante definir el Grupo Racional Homogéneo (GHR) del cual se tomarán las muestras. Lo ideal es que este grupo esté libre

de causas especiales que puedan introducir variabilidad en las mediciones. Al seleccionar un GHR que sea representativo de la variación general del proceso, podemos asegurar que la variación dentro de estos grupos refleje con precisión la verdadera variación del proceso cuando se eliminan todas las causas especiales. A modo de ilustración, consideremos un proceso de mecanizado para un mango cilíndrico, donde hemos identificado varias fuentes potenciales de variabilidad:

- El desgaste de la herramienta está relacionado con la cantidad de tiempo que se utiliza la herramienta. Se refiere al deterioro o daño gradual que se produce en una herramienta a medida que se utiliza repetidamente durante un período de tiempo determinado.
- El proveedor de los materiales sin procesar necesarios para la producción.
- El lote entregado por el proveedor.
- Cuando el diámetro medido corresponde a la primera o segunda superficie (posición sobre la pieza de trabajo).

En este escenario particular, al realizar una medición en una muestra, resulta imperativo determinar el momento específico en el que se produjo la pieza respectiva, el proveedor particular responsable de su fabricación y el lote específico de materias primas empleadas. Además, es crucial determinar el lado o aspecto de la medición que se está realizando, ya que cualquier omisión de esta información haría completamente imposible cuantificar y evaluar con precisión las diversas fuentes de variabilidad. Es esencial señalar que incluso el propio acto de medición puede introducir una variabilidad adicional, lo que obliga a adoptar ciertas medidas de precaución:

- Para garantizar la precisión y la coherencia, es imperativo tener un procedimiento de medición bien definido. En un escenario sencillo como este, puede ser suficiente dar instrucciones a un técnico de taller para que utilice un micrómetro calibrado y mida dos diámetros en un ángulo de 90° y luego calcule el promedio. Sin embargo, si la tarea de medición se vuelve más compleja, resulta esencial establecer un procedimiento escrito integral.
- Si se desconoce la repetibilidad y reproducibilidad del método de medición utilizado, se debe realizar un estudio R&R (repetibilidad y reproducibilidad). Los estudios R&R también se conocen como estudios MSA (Análisis de sistemas de medición).

Debido a esta etapa, es necesario crear al menos una plantilla de recolección de datos para evitar posibles errores durante el proceso de recolección o registro de datos.

- Para recopilar datos precisos, es esencial que el proceso funcione sin ninguna interferencia de factores externos. El proceso debe ser lo suficientemente estable para que los gráficos de control sean efectivos y proporcionen cierto nivel de previsibilidad, aunque sea

inherentemente aleatorio. Si un proceso es caótico e impredecible, no se pueden aplicar gráficos de control y realizar un estudio de capacidad no tendría sentido. Para estabilizar dicho proceso, se deben utilizar herramientas estadísticas avanzadas y se debe obtener una comprensión profunda del proceso a través del conocimiento empírico.

- La recopilación de datos suele ocurrir durante un período prolongado y la lleva a cabo un individuo. Si el objetivo es captar diversas fuentes de variabilidad cíclica, el proceso de recopilación de datos puede ser largo. Como resultado, existe una mayor probabilidad de que se produzcan errores debido a malentendidos. Para mitigar este riesgo, es fundamental establecer una plantilla de recopilación de datos clara y detallada en lugar de esperar hasta que se hayan recopilado todos los datos antes de revisarlos. Es importante evitar la desafortunada situación de darse cuenta de que los datos recopilados durante semanas no tienen valor.
- Para lograr las metas uno de los objetivos principales del estudio es determinar el patrón de variabilidad y los factores clave que contribuyen a esta variabilidad. Para ello, los investigadores se apoyan en diversas herramientas como el gráfico Multivar y la técnica de análisis de componentes de la varianza, que han demostrado ser muy eficaces en este sentido. Estas herramientas permiten a los investigadores obtener una comprensión integral de los patrones de fluctuación y determinar los principales impulsores detrás de ellos. Al emplear estos enfoques analíticos, el estudio pretende desentrañar las complejidades de la variabilidad y arrojar luz sobre los factores fundamentales que influyen en ella.
- Una vez recopilados los datos, es necesario comprobar la normalidad. En concreto, los datos correspondientes a un mismo GHR deben presentar normalidad. Si el conjunto de datos general no es normal pero los datos de GHR sí lo son, indica que uno de los criterios utilizados para estratificar las muestras es una causa especial. Sin embargo, si se determina que los datos no son normales debido a limitaciones tecnológicas o mediante análisis de datos, se debe realizar una transformación de normalización. Es importante señalar que si los datos no son normales, cualquier predicción hecha con respecto a la fracción defectuosa en el estudio no es válida. El párrafo 11 proporciona orientación sobre cómo proceder cuando los datos no son normales. Se pueden utilizar varias pruebas de ajuste, como χ^2 y Kolmogorov-Smirnov, para comprobar la normalidad. Una prueba comúnmente empleada en ingeniería de calidad se basa en el "artículo probabilístico normal", que alinea las probabilidades acumuladas de datos de una muestra con una distribución normal en una escala de ordenadas modificada.

Los procesos no normales

Hay ciertos procesos que poseen una característica inherente que se desvía de la normalidad, por lo que es inútil esperar que se ajusten a una distribución normal o implementar

medidas correctivas para establecer un control estadístico sobre el proceso. Un escenario común involucra procesos que encuentran una "barrera" que impide que la variable aleatoria asuma valores que van desde el infinito negativo hasta el infinito positivo. Por ejemplo, considere un proceso de perforación en el que el diámetro mínimo de la broca sirve como límite inferior, o procesos químicos que implican la adición de capas gruesas.

Si el proceso no sigue una distribución normal por causas inherentes a la naturaleza del propio proceso, lo anterior se afecta de la siguiente manera:

- Para determinar el significado de los índices y la proporción de productos que quedan fuera del rango aceptable, es necesario considerar la distribución que sigue el proceso de fabricación. Si se desconoce la distribución, se puede utilizar la desigualdad de Tchebichef para establecer que la porción de la distribución que se extiende más allá de 3σ (desviaciones estándar) de la media no es más de $1/9$, lo que equivale al 11% (a diferencia de la 0,135% observado en un proceso distribuido normalmente).
- Los coeficientes utilizados para estimar σ_S y σ_R carecen de validez, lo que hace que los límites de control calculados para el gráfico de media y rango no sean confiables.
- Existe la posibilidad de que el gráfico de medias muestre una distribución normal a pesar de la presencia del TLC. Sin embargo, si la distribución del proceso está muy sesgada, sería esencial tener un tamaño de muestra mayor, normalmente superior a 25 o 30 en lugar de los habituales 4 o 5, para considerar que la distribución de medias es normal.

En tales situaciones, lo mejor es hacer lo siguiente:

- Debido a que la causa subyacente de la no normalidad es inherente al proceso mismo, es esencial recolectar una muestra de al menos 25 o 30 unidades para minimizar la desviación de una distribución normal. Al hacerlo, es posible gestionar eficazmente cualquier cambio o fluctuación en el proceso.
- Es importante analizar la distribución de los datos calculando la media, la desviación estándar y el coeficiente de asimetría. Al hacerlo, podemos determinar si el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones requeridas. Si la distribución queda fuera del rango de tolerancia aceptable, sugiere que el proceso es incapaz de producir los resultados deseados. Por otro lado, si la distribución está estrechamente contenida dentro del rango de tolerancia, es posible que otros factores o variaciones inherentes al funcionamiento normal del proceso puedan estar provocando que ciertas partes de la producción se desvíen de las especificaciones deseadas.
- Un paso recomendado es aplicar una transformación de normalización a los datos. Se sabe que las transformaciones BoxCox, en particular, son efectivas para este propósito.

- Una vez determinada la transformación de normalización numérica, si los valores de las muestras están codificados, se pueden tratar de manera similar a los procesos anteriores. Sin embargo, para interpretar los valores de los límites de control y la fracción fuera de tolerancia, es necesario invertir la transformación.

Procesos en la gestión de calidad

En el competitivo panorama empresarial actual, la gestión de procesos se ha convertido en una práctica común para las empresas que se esfuerzan por mantenerse a la vanguardia. Representa un cambio de paradigma en cómo se definen y gestionan las organizaciones. En lugar de ver la organización como un conjunto de entidades separadas, ahora se la ve como una red de procesos interconectados que funcionan en armonía. La atención se centra en cada proceso individual, con el objetivo de minimizar las variaciones no deseadas y maximizar la eficiencia.

Este nuevo enfoque cambia fundamentalmente la forma en que percibimos y operamos dentro de una organización. Requiere un conocimiento profundo de los procesos, sus características y los distintos tipos que existen. La gestión eficaz de estos procesos es crucial para lograr una mayor satisfacción del cliente e impulsar la mejora continua. Ya no se refiere únicamente a los clientes externos sino que también incluye a los clientes internos dentro de la organización. En este contexto, una empresa puede verse como una vasta red de relaciones internas cliente-proveedor. Cada tarea o actividad se considera parte de un proceso más amplio y los involucrados son conscientes de que están contribuyendo a la cadena de valor de un cliente. El resultado de un proceso se convierte en el insumo de otro, y todos en la organización comprenden que son clientes y proveedores simultáneamente.

Un proceso puede definirse como una serie de acciones llevadas a cabo por individuos o un grupo con el objetivo de transformar entradas en salidas que sean beneficiosas para un cliente. Esta definición enfatiza la transformación esencial que implica todo proceso. Ampliando esta idea, se tiene además que un proceso implica convertir diversos insumos, como operaciones, métodos o acciones, en resultados que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes en términos de productos, información, servicios o resultados generales.

Por lo tanto, es importante reconocer que una organización está compuesta por múltiples procesos que ocurren simultáneamente y están interconectados, lo que permite el potencial de la gestión de procesos, como se explorará en secciones posteriores. Además, la inclusión del término "cliente" nos lleva a considerar que todos los miembros de una organización sirven directamente a los clientes o indirectamente sirven a alguien que sirve a los clientes.

Esto lleva a la distinción entre clientes internos y externos, destacando el hecho de que los individuos dentro de la organización siempre suministran directa o indirectamente a un cliente. Partiendo de la definición de proceso, se puede agregar que cada grupo de actividades o procesos

conforma una cadena de valor, con el objetivo final de satisfacer al cliente generando valor agregado en cada actividad. Simplificando esta noción, ISO 9000:2000 define cualquier actividad que recibe entradas y las convierte en salidas como un proceso. Además, el modelo EFQM incorpora los conceptos de "generar valor para los clientes y otras partes interesadas" y "apoyar la política y la estrategia". Introduce así un elemento crucial que no puede pasarse por alto: el "valor añadido" que aportan los distintos procesos dentro de una organización.

Considerando esto, el Club de Excelencia en Gestión presenta la siguiente definición de proceso: "un conjunto de recursos y actividades interconectados que transforman elementos de entrada en elementos de salida, proporcionando valor agregado para el cliente". En conclusión, un proceso puede entenderse como una secuencia lógica de actividades diseñadas para producir un resultado predeterminado para los clientes identificados, utilizando los insumos necesarios que aportan valor. Ejemplos de procesos incluyen desarrollo de productos, producción, distribución, ventas, facturación y más.

Para ser considerado como tal, cada proceso debe cumplir una serie de características, tales como:

- La posibilidad de ser definido es un aspecto fundamental que requiere tener una misión o propósito claro.
- Los límites se presentan de manera clara y explícita, con una indicación clara de dónde comienzan y dónde terminan.
- El potencial de ser representado visualmente.
- El potencial de medición y control existe dentro del ámbito de lo posible, ya que hay indicadores disponibles que permiten monitorear el progreso y los resultados, e incluso ofrecen oportunidades de mejora.
- Un factor importante por considerar es la presencia de una persona designada como responsable, que supervisa la eficiencia y eficacia general del proceso. Esta persona tiene asignadas una multitud de responsabilidades, que incluyen, entre otras, garantizar la adecuada ejecución y control del proceso a lo largo de sus diversas fases.

Además de las características antes mencionadas, todo proceso conlleva varios componentes esenciales. En primer lugar, hay un insumo que es proporcionado por un proveedor, ya sea externo o interno a la organización, y estos insumos deben cumplir con criterios específicos predeterminados. En segundo lugar, el proceso en sí comprende una serie de actividades que se llevan a cabo con la ayuda de diversos factores, incluidos individuos, metodologías y recursos. Por último, hay un producto o resultado que se produce como consecuencia directa del proceso, y este producto está destinado a un destinatario, ya sea externo o interno a la organización. Además, este producto posee un valor inherente que el receptor puede medir o evaluar objetivamente.

Las entradas y salidas de un procedimiento particular forman correspondientemente las salidas y entradas de otros procedimientos. Los diversos procedimientos dentro de una organización están interconectados, lo que significa que el resultado de un procedimiento se convierte directamente en el insumo del procedimiento siguiente. Esto enfatiza la importancia de identificar y comprender con precisión estos procesos y sus límites para poder gestionarlos de forma eficaz.

De manera similar, los procesos tienen la capacidad de fusionarse para formar una cadena de procesos, donde el resultado del proceso del proveedor sirve como insumo para el proceso de la organización, y el resultado del proceso de la organización sirve como insumo para el proceso del cliente. Cuando se trata de limitaciones de los procesos, es crucial determinar la unidad adecuada para su gestión en los diferentes niveles de responsabilidad. Además, los factores de un proceso abarcan personas, materiales, recursos humanos y las metodologías utilizadas en él. El control de estos factores permite la regulación del proceso. En consecuencia, si se produce algún resultado no deseado o una operación incorrecta, identificar el factor específico que lo causó se vuelve vital para guiar las medidas correctivas o de mejora. La siguiente figura ilustra los límites, componentes y factores de un proceso, así como los proveedores y clientes previstos, que pueden clasificarse como internos o externos.

Límites, elementos y factores de un proceso.

ENTRADA / INPUT		PROCESO	SALIDA / OUTPUT	
PRODUCTO	PROVEEDOR		PRODUCTO	CLIENTE
Características objetivas	Criterios de evaluación	PERSONAS • Responsable del proceso • Miembros del equipo	Características objetivas	Satisfacción
		MATERIALES • Materias primas • Información		
		RECURSOS FÍSICOS • Maquinaria y utillaje • Hardware y software	Criterios de evaluación	
		MÉTODO DE CAUSAS • Operación • Medición / evaluación: Funcionamiento del proceso Producto Satisfacción del cliente	EFECTOS	
MEDIDAS DE		Eficiencia y eficacia	Cumplimiento	Satisfacción

Los tipos de procesos

Actualmente no existe una forma universalmente aceptada de clasificar los procesos, ya que se pueden utilizar diferentes criterios. Una posible clasificación se basa en si las actividades o procesos involucrados son simples o complejos, y si pertenecen a una sola función dentro de una organización o involucran múltiples funciones. Según las estructuras tradicionales de organización departamental, los procesos se pueden clasificar en intrafuncionales o interfuncionales, es decir, involucran a uno o varios departamentos. Sin embargo, dada la naturaleza jerárquica de las organizaciones, los procesos también tienen una dimensión vertical, involucrando diferentes niveles de responsabilidad dentro de la organización. Esta perspectiva sobre los procesos resalta los potenciales conflictos que pueden surgir durante su desarrollo o al intentar implementar mejoras. En el caso de procesos interfuncionales, pueden surgir problemas debido a barreras interdepartamentales y, debido a la naturaleza vertical de los procesos, pueden surgir problemas al asignar responsabilidades entre departamentos.

Otra forma de categorizar los procesos es considerando su propósito u objetivo. Como menciona Pérez en su estudio realizado en 2004, este método de clasificación también está disponible:

- Los procesos operativos desempeñan un papel crucial en la transformación de los recursos para ofrecer productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y ofrezcan un valor significativo. Estos procesos se conocen colectivamente como "Proceso de Negocio" y abarcan todo el recorrido desde el inicio hasta la finalización con el cliente en el centro. La ejecución de estos procesos requiere la asignación de recursos y la gestión de información relevante. Estos procesos se alinean con las especificaciones descritas en el área 7 de la norma ISO 9001:2000. En el contexto de una empresa industrial, estos procesos abarcan actividades tales como identificar y evaluar los requisitos del producto, diseñar y desarrollar productos, adquisición, producción y entrega, y mantener canales de comunicación efectivos con los clientes.
- Los procesos de soporte son esenciales para el funcionamiento de otros procesos dentro de una empresa. Estos procesos proporcionan los recursos tanto físicos como humanos que son necesarios para la organización. Se consideran procesos transversales porque proporcionan recursos en diferentes etapas del proceso empresarial general. Estos procesos se alinean con los requisitos descritos en el área 6 de la norma ISO 9001:2000, con la excepción de "compras" que se clasifica como un proceso operativo. Algunos ejemplos de procesos de apoyo incluyen la gestión de recursos humanos, que engloba actividades como reclutamiento, promociones internas, integración de nuevos empleados, comunicación interna, capacitación y garantía de seguridad laboral. Otros procesos de apoyo incluyen el suministro de bienes de inversión, el mantenimiento de infraestructura y servicios generales, y la gestión de proveedores de materiales.

- Los procesos de gestión son cruciales para el buen funcionamiento de otros procesos dentro de una organización. Desempeñan un papel vital al proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones y la formulación de planes de mejora. Estos procesos abarcan actividades de evaluación, control, seguimiento y medición. Tienen un carácter multifuncional y se alinean con los requisitos descritos en el área 8 de la norma ISO 9001:2000. Específicamente, los procesos de gestión incluyen gestión económica, gestión de calidad/ambiental (que incorpora procesos de control de documentos y control de registros, medición de la satisfacción del cliente, auditoría interna, seguimiento y medición de productos y procesos, análisis y mejora de datos). Vale la pena señalar que algunas organizaciones pueden tener procesos de gestión adicionales, como la gestión de clientes (para una interacción efectiva con los clientes a lo largo del Proceso de Negocio) o la gestión de proyectos (en empresas estructuradas en torno a proyectos).
- Los procesos de gestión tienen un impacto significativo en todas las operaciones realizadas dentro de la empresa y se caracterizan por su carácter transversal. Estos procesos abarcan una gama de actividades que incluyen el desarrollo, la comunicación y la evaluación periódica de los planes estratégicos de la empresa. Además, abarcan el establecimiento, implementación, seguimiento y evaluación de diversos objetivos. La comunicación interna y la revisión periódica de los resultados por parte del equipo directivo también caen bajo el paraguas de los procesos de gestión.

Sin embargo, a menudo ocurre que la categorización más frecuente de procesos en aplicaciones prácticas es diferenciarlos como procesos estratégicos, claves o de apoyo:

- Los procesos operativos, también conocidos como procesos clave, abarcan las actividades centrales de una empresa. Estos procesos son indicativos de las operaciones habituales de la empresa y pueden incluir el proceso de suministro, el proceso de producción, el proceso de prestación de servicios, el proceso de marketing y varios otros. Los procesos estratégicos abarcan las diversas actividades que realiza una empresa para formular sus estrategias y establecer sus objetivos. Estos procesos abarcan una variedad de tareas, como la planificación meticulosa de presupuestos, el diseño complejo de productos y/o servicios, y muchos otros.
- Los procesos de soporte son esenciales para permitir que se ejecuten procesos clave proporcionando los recursos y el soporte necesarios. Estos procesos clave abarcan varios aspectos como capacitación, operaciones informáticas, logística y más. Además, es importante diferenciar entre procesos clave y procesos críticos. Los procesos clave generalmente se alinean con la definición antes mencionada y tienen un enfoque principal en la satisfacción del cliente, al tiempo que utilizan ampliamente los recursos disponibles de la empresa. Por el contrario, un proceso se considera crítico cuando el logro de los objetivos y estándares de calidad de la empresa dependen en gran medida de su ejecución.

La relación entre el cliente y el proveedor interno

En cada proceso, la persona a cargo del mismo tiene la tarea vital de apoyar y coordinar las distintas funciones involucradas para garantizar la satisfacción del cliente. Por lo tanto, se puede argumentar que uno de los objetivos clave de la gestión de procesos es priorizar las necesidades y deseos de los clientes, con una comprensión integral del término "cliente" que abarca a todos los individuos que se ven afectados por los procesos o productos de la empresa. De ahí que sea aconsejable distinguir entre diferentes tipos de clientes que pueden verse influenciados por uno o más procesos. En consecuencia, podemos identificar dos categorías de clientes: clientes externos y clientes internos. Un cliente externo se refiere a cualquier persona que no forma parte de la empresa pero compra sus productos y/o servicios.

Por otro lado, se define cliente interno como cualquier persona dentro de la empresa que obtiene documentos, información, procedimientos, materiales o piezas para incorporar a su propio trabajo y posteriormente vender a otro cliente. Este concepto surge al reconocer que todos los empleados están involucrados en una relación interna dinámica cliente-proveedor. Dentro de la empresa, cada miembro es al mismo tiempo cliente y proveedor de otros dentro de la organización. La razón detrás de considerar a los empleados como clientes internos es garantizar la satisfacción de todos los individuos involucrados, de modo que cuando estas relaciones se extiendan a los clientes externos, se logre el más alto nivel de satisfacción.

En el ámbito de la gestión corporativa convencional, los individuos suelen dedicar su energía a las tareas específicas que se les asignan, esforzándose diligentemente por ejecutarlas de acuerdo con las instrucciones o especificaciones proporcionadas. Sin embargo, muchas veces permanecen ajenos o poseen un conocimiento limitado sobre el impacto de sus contribuciones en el resultado final de toda la organización.

En el ámbito de la gestión de procesos, es evidente que el trabajo de cada individuo se considera un proceso que produce un producto o servicio de valor inherente para un cliente, ya sea interno o externo. En tales circunstancias, las personas que reconocen su papel dentro de una cadena de valor agregado asumen voluntariamente deberes y asumen la responsabilidad para mejorar su productividad y alcanzar colectivamente objetivos compartidos.

El nuevo enfoque de trabajo implica un cambio en la forma en que se gestionan las interacciones a diario, centrándose en el nivel de proceso y exigiendo cambios en el comportamiento de los individuos. En este marco, cada individuo asume el doble papel de cliente y proveedor.

La base de un sistema operativo que opera en equipos de trabajo es el modelo "cliente-proveedor interno". Para implementar con éxito este modelo, es crucial iniciar el proceso desde la perspectiva del cliente externo, centrándose en el rol del proveedor interno y entendiendo sus requisitos durante todo el proceso (Camisión et al., 2006).

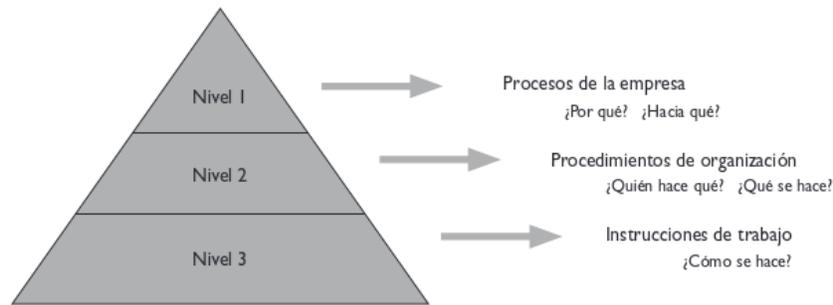
El modelo «cliente interno-proveedor», ofrece numerosos beneficios a una organización en términos de mejorar su eficiencia y eficacia. Este modelo fomenta una cultura de aprendizaje continuo y garantiza un flujo fluido de información dentro de la organización. Además, promueve una mayor cohesión interna al fomentar la colaboración y comunicación entre proveedores y clientes internos. A nivel individual, este modelo facilita una comprensión integral de las operaciones de la organización, permitiendo a los empleados tener una visión holística que abarca tanto a sus proveedores como a sus clientes (Camisón et al., 2006). A través de la interacción constante y el intercambio de comentarios, los proveedores y los clientes internos desempeñan un papel fundamental a la hora de impulsar el éxito de este modelo.

Los procesos y su representación gráfica

Como se mencionó anteriormente, todos los procesos se pueden representar visualmente mediante diagramas. El método más utilizado para la representación gráfica es la utilización de diagramas, que ayudan en la comprensión general del proceso al proporcionar una presentación visual que facilita la comunicación, ejecución y análisis de los procesos. Dos tipos notables de diagramas son el diagrama de bloques y el diagrama de flujo. Sin embargo, el aspecto clave no es el método específico de representación, sino más bien la claridad de cómo se representan los procesos, funciones, operaciones y actividades. Es fundamental que el método de representación elegido sea fácilmente comprensible para una comunicación eficaz. Entre las diversas opciones, más ampliamente utilizada, se encuentra el método Qualigramme debido a las numerosas ventajas que ofrece.

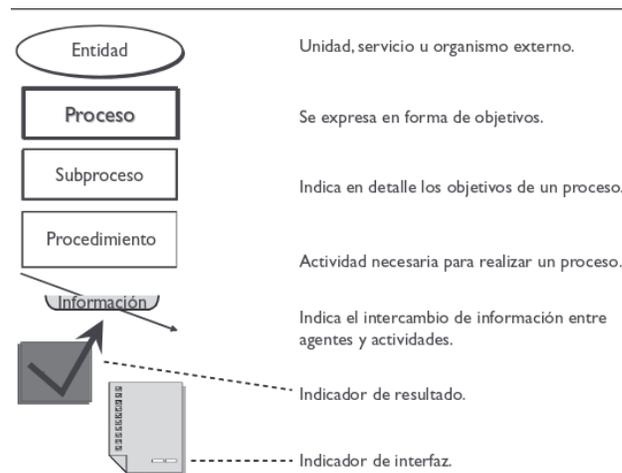
La representación gráfica de Qualigramme se basa en una estructura piramidal que categoriza el modelado en tres niveles: el nivel 1, que se centra en los procesos de la empresa; el nivel 2, que se ocupa de los procedimientos organizativos; y el nivel 3, que involucra instrucciones de trabajo:

- En el primer nivel, se examinan los procesos de la empresa, incluido el enfoque estratégico de la organización, como su misión, políticas, objetivos y las relaciones entre estos objetivos. Normalmente, estos elementos se pueden encontrar en el manual de calidad de la empresa.
- El segundo nivel se refiere a los procedimientos organizacionales y representa cómo está estructurada la empresa. Este nivel define las relaciones entre clientes internos y proveedores, delineando las acciones necesarias, el intercambio de información y las herramientas a utilizar.
- Finalmente, el tercer nivel consta de instrucciones de trabajo y se centra en el aspecto práctico. Implica identificar las tareas esenciales a realizar, así como los controles y acciones correctivas adecuadas para asegurar su finalización exitosa.



La descripción del proceso

El método de descripción gráfica Qualigramme ofrece múltiples opciones para representar procesos, cada una con distintos niveles de detalle. Un enfoque es la cartografía macroscópica, que proporciona una visión general de los procesos de la empresa. Otra opción es la cartografía relacional, que se centra en identificar las conexiones entre procesos. Por último, la cartografía detallada profundiza en los subprocesos y procedimientos específicos que componen un proceso, así como en sus interrelaciones. A continuación se presenta los símbolos fundamentales utilizados para representar todos los aspectos relacionados con los procesos.



- La cartografía macroscópica; este modo de representación es extremadamente completo y abarca varios procesos realizados dentro de la organización, además de mantener relaciones cruciales con entidades externas.
- La cartografía relacional; es un método que permite comprender las relaciones entre varios procesos. Al observar cómo estos procesos interactúan entre sí y sus conexiones con entidades externas, podemos obtener información valiosa. En lugar de crear un único

gráfico complejo y confuso, suele ser más eficaz crear múltiples gráficos claros y concisos que representen las diferentes relaciones entre los procesos. El principal objetivo de este enfoque es garantizar una comprensión rápida y sencilla de los objetivos del proceso examinado. Para lograrlo, podemos crear dos gráficos separados que examinen las relaciones desde dos perspectivas diferentes: la "visión del proveedor" y la "visión del cliente". En la "visión del proveedor", el proceso que se examina se considera el proveedor o productor de otros procesos y entidades externas. Esto está representado por las flechas que se originan en él. Por el contrario, en la "vista del cliente", el proceso examinado se ve como el cliente o destinatario de otros procesos y entidades externas. Esto está representado por las flechas que apuntan hacia él.

- La cartografía detallada; se refiere a un tipo de mapa o diagrama que proporciona un nivel extenso de detalle sobre el proceso de nivel 1 de la pirámide Qualigramme. Esta cartografía describe los subprocesos y procedimientos específicos que deben ejecutarse para lograr con éxito los objetivos designados. En esta forma particular de cartografía, el intercambio de información entre procesos, subprocesos y procedimientos se representa visualmente mediante el uso de flechas de entrada y salida. El primer tipo de indicador, conocido como indicador de resultados, está asociado con procesos, subprocesos, procedimientos o instrucciones y se representa con formas rectangulares en el gráfico. Su propósito es medir el grado en que se ha logrado un objetivo asignado. Siempre que este símbolo está presente, siempre lo acompaña una hoja descriptiva del indicador. Por otro lado, el segundo tipo de indicador, denominado indicador de interfaz, está vinculado a las relaciones entre clientes y proveedores. Este símbolo, a menudo denominado "contrato", siempre está colocado encima de las flechas de información. Significa que una de las partes involucradas en el contrato se ha comprometido a proporcionar la información necesaria a la otra parte en condiciones preestablecidas. Es posible crear una ficha de indicadores para controlar el cumplimiento del contrato, aunque es más habitual incluir un texto escrito que detalle los detalles concretos, como la naturaleza del suministro, criterios de aceptación (conformidad), plazos de suministro de información, y la forma o medio de transmisión preferido.

La descripción de los procedimientos

Los procedimientos nos proporcionan una comprensión clara de las personas responsables de realizar tareas específicas y las acciones realizadas en relación con un objetivo particular. Un procedimiento abarca múltiples roles o funciones, las acciones específicas que realizan, los recursos principales que utilizan (como herramientas, materiales y documentos) y una secuencia cronológica de ejecución de estas acciones.

Para crear un procedimiento utilizando el lenguaje Qualigramme en formato gráfico, es fundamental seguir las instrucciones descritas por Berger y Guillard en su publicación de 2001. Estas instrucciones sirven como guía para representar de manera efectiva y precisa los pasos del procedimiento de una manera visualmente atractiva. Siguiendo estas pautas, se puede garantizar la claridad y comprensibilidad del procedimiento, haciendo que sea más fácil de entender y seguir para otros:

- Identificar el elemento que finaliza el procedimiento. Identificar los roles o roles involucrados: rol externo; roles internos; unidades.
- Identificar el elemento motivador: información procedente de un rol externo o actividad previa.
- El primer paso es reconocer y enumerar todas las direcciones que constituyen el procedimiento.
- Para cada instrucción, se debe completar el cuestionario.
- La distribución y provisión de los recursos necesarios (como materiales y documentos) para ejecutar eficazmente las instrucciones dadas.
- Una discusión sobre la importancia del comentario de las formas gráficas que lo requieran, brindando una explicación concisa para mejorar la comprensión de la forma en cuestión.
- Definición de las instrucciones a desarrollar. Aquellas instrucciones que presenten riesgos o requieran un seguimiento especial deberán dictarse tal y como se especifica en el apartado de instrucciones). También existen otras formas de explicar cómo se deben ejecutar las instrucciones, como por ejemplo: comentarios (texto breve explicativo), documentación de soporte (en forma de "herramienta de documentación") o macros (que incluyen tres instrucciones que detallan) o permiten la ejecución y el control. cuatro operaciones principales de instrucciones).
- Encuentra el componente que marca la conclusión del proceso.
- Identificar responsabilidades: Indicar los roles responsables del procedimiento, así como los propietarios y participantes de las actividades compartidas.

La descripción de una instrucción

A la hora de representar visualmente instrucciones de trabajo, es fundamental seguir un método específico. Este método implica parafrasear la información en un formato gráfico, lo que ayuda a una mejor comprensión. Mediante el uso de gráficos, las personas pueden comprender fácilmente la secuencia de pasos y el flujo general de la actividad que se describe en las instrucciones de trabajo. Las instrucciones de trabajo nos brindan información sobre cómo realizar

una tarea particular y generalmente se asignan a una función específica dentro de una organización. Estas instrucciones deben ser muy detalladas y abarcar todos los pasos y procedimientos necesarios para completar con éxito la actividad.

Las instrucciones de trabajo se clasifican como parte del tercer nivel dentro de la pirámide Qualigramme, que es un modelo jerárquico que se utiliza para categorizar y organizar diferentes tipos de documentación de procesos. En esencia, las instrucciones de trabajo sirven como una guía integral que permite a las personas realizar tareas específicas de manera precisa y eficiente. Sirven como una herramienta vital para garantizar la coherencia, reducir errores y mantener los estándares de calidad dentro de una organización. Por lo tanto, es fundamental invertir tiempo y esfuerzo en crear instrucciones de trabajo detalladas y bien estructuradas que no dejen lugar a ambigüedades o confusión:

- Uno de los primeros pasos es determinar el puesto o trabajo específico involucrado en la situación.
- Enumerar las diversas operaciones que ocurren en una secuencia cronológica.
- Para realizar eficazmente las tareas en cuestión, es esencial enfatizar y enumerar las diversas herramientas, materiales y documentos necesarios para completar las operaciones con éxito.

Las instrucciones de trabajo sólo deben describirse si suponen un riesgo potencial de disfunciones o no conformidades y, por tanto, requieren un seguimiento especial. Utilizando los símbolos básicos utilizados para la representación gráfica, se pueden representar eficazmente todas las situaciones posibles.

Además de los símbolos básicos, Qualigramme utiliza otros métodos para indicar diferentes elementos como el inicio, el final, los imperativos, las operaciones de control, las operaciones correctivas, etc. Es imprescindible que todas las instrucciones de trabajo se presenten en un formato que no supere una página A4 y estén organizadas en tres columnas. Estas columnas incluyen el papel que juega la instrucción en relación con las distintas operaciones a realizar, el plan de autocontrol y las acciones correctivas que pueden surgir de controles inadecuados.

Los procesos y su gestión

El concepto de gestión es uno que ha estado sujeto a diversas interpretaciones, llevando a que cada individuo lo defina según su propio entendimiento. Esta divergencia en la interpretación hace que sea difícil lograr una comprensión unánime de su significado. La norma ISO 9000:2000 intenta proporcionar una definición clara al afirmar que la gestión implica la coordinación de actividades destinadas a dirigir y controlar una organización. Otra perspectiva de la gestión, es que

implica ejecutar tareas de manera minuciosa, apegándose a planes preestablecidos, con el objetivo final de alcanzar los objetivos y posteriormente evaluar el nivel de consecución.

Existen algunas definiciones de gestión, pero es necesario destacar dos aspectos importantes:

- En primer lugar, la existencia de una gestión depende de que tenga objetivos claros.
- En segundo lugar, la gestión va más allá de la simple medición del desempeño; también debe abarcar la noción de mejora continua.

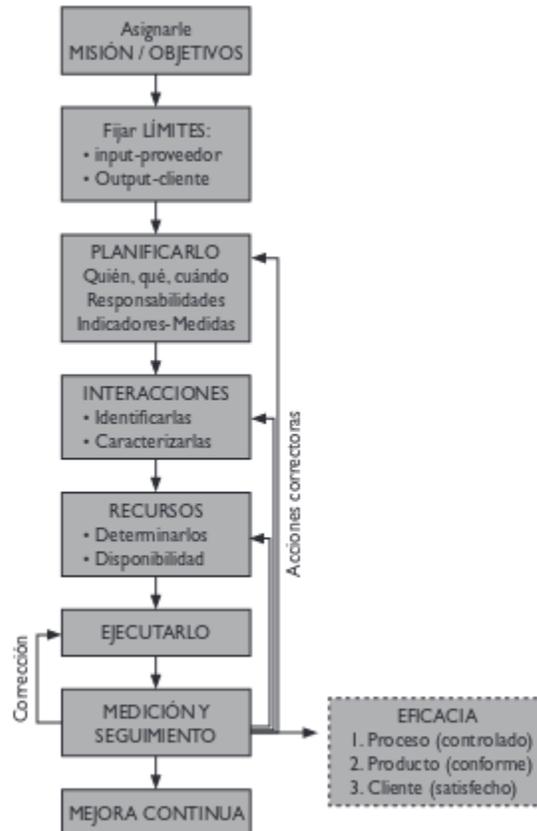
En muchas organizaciones es común manejar los procesos de producción y el área de ventas, pero no es típico manejar otros procesos internos de servicios o relaciones internas cliente-proveedor. Sin embargo, ahora es posible y necesario gestionar variables como la satisfacción del cliente y todos los procesos dentro de la organización. En el pasado, esto no era una prioridad, principalmente porque encontrar sistemas de medición y evaluación adecuados era un desafío. Empero ahora, gestionar la satisfacción del cliente significa comprender y abordar la percepción que tiene el cliente de sus verdaderas necesidades, no sólo del producto o servicio que adquirió.

La gestión de procesos implica implementar sistemas para medir y evaluar la efectividad de los procesos, no solo el resultado final. La medición es crucial para una gestión eficaz. Como dice el refrán, “no se puede controlar lo que no se mide, y no se puede gestionar lo que no se controla”. La gestión de procesos es una práctica que supone una gestión integral de todos los procesos dentro de la empresa, no sólo de los procesos de producción y ventas en los que tradicionalmente se ha centrado.

Cuando se considera la gestión de procesos, la empresa se ve como un sistema complejo que consta de procesos interconectados que trabajan juntos para mejorar la satisfacción del cliente (Casadesús et al., 2005). Es crucial reconocer que un enfoque centrado en procesos implica integrar la gestión de procesos con la estrategia general de la empresa, en lugar de simplemente cambiar el nombre de los procedimientos o departamentos existentes a "procesos". Una genuina orientación a procesos requiere la identificación sistemática y la gestión efectiva de todos los procesos dentro de la organización, con énfasis específico en comprender y optimizar las interacciones entre estos procesos.

Las etapas en la gestión de un proceso

Para manejar eficazmente cualquier proceso, es fundamental tener una comprensión integral tanto de los principios de gestión como de los procesos preestablecidos involucrados. Esta comprensión sirve como base para gestionar y ejecutar con éxito diversas tareas. Como se describe en la figura (Pérez, 2004), es necesario seguir una serie de pasos para garantizar un proceso de gestión fluido y eficiente.



Estos pasos actúan como una hoja de ruta, guiando a los gerentes a través de las acciones y decisiones necesarias para lograr los resultados deseados. Al seguir estos pasos, los gerentes pueden navegar eficazmente por las complejidades de la gestión de procesos y garantizar que los objetivos se cumplan de manera oportuna y organizada:

- En primer lugar, es esencial asignar y transmitir eficazmente el propósito y objetivo del proceso, además de delinear el nivel deseado de calidad, tiempo o servicio y los objetivos de costos que deben alcanzarse. Estos objetivos deben alinearse con las necesidades y demandas específicas de los clientes, al mismo tiempo que deben estar en armonía con la dirección estratégica general de la empresa.
- Definir los límites o restricciones del proceso, utilizando la terminología analizada en la sección inicial de este capítulo.
- Planificar el proceso, crear una representación gráfica del proceso y aclarar indicadores y mediciones del proceso y del producto.
- Establecer la secuencia de los procesos y las diversas interacciones que se producen entre ellos es fundamental. Es importante identificar y comprender el orden específico en el que

ocurren estos procesos y cómo se conectan y comunican entre sí. Al hacerlo, podemos obtener una comprensión integral del flujo general y la dinámica del sistema. Este conocimiento nos permite analizar y optimizar eficazmente los procesos, así como identificar posibles cuellos de botella o áreas de mejora. Además, comprender las interacciones entre procesos permite una mejor coordinación y colaboración entre diferentes equipos o departamentos involucrados en el proceso general. Esto garantiza un funcionamiento fluido y eficiente, así como una resolución de problemas y una toma de decisiones eficaces cuando surgen problemas. Por lo tanto, establecer una secuencia clara y bien definida de procesos y sus interacciones es crucial para operaciones exitosas y optimizadas.

- El paso 5 implica asignar los recursos esenciales, tanto tangibles como intangibles, para ejecutar y supervisar el proceso de manera efectiva.
- La ejecución del proceso.
- El acto de evaluar y observar la progresión del procedimiento.
- En caso de cualquier desviación de los objetivos establecidos, es importante proponer acciones correctivas adecuadas e implementarlas de manera efectiva para abordar y rectificar la situación.
- Mejora y refinamiento constante en los procesos.
- En ciertos casos, resulta necesario que la empresa contemple la posible implementación de mejoras identificadas o acciones correctivas en otras operaciones.

Los siguientes son los atributos que definen un proceso bien gestionado, es crucial identificar y reconocer con precisión a los clientes y proveedores involucrados en el proceso:

- Tener una misión claramente definida.
- Poseer metas cuantitativas y cualitativas, así como indicadores que miden el nivel de cumplimiento.
- Contar con una persona responsable y controladora del proceso.
- Establecimiento de límites iniciales y finales específicos.
- Obtención de los recursos y la tecnología de la información necesarios para poder hacerlo.
- Implementación de un conjunto integral de medidas para garantizar un control efectivo.
- Puntos mínimos de control, revisión y espera.

- "Bajo control estadístico", es decir, que no existe variación por causas especiales.
- Es importante que algo esté estandarizado y documentado.
- Mostrar relaciones con otros procesos internos y del cliente.
- Contribuir al desarrollo de nuestra propia ventaja competitiva sostenible y de largo plazo.
- Ser lo más simple y fácil de realizar posible.

Control de la gestión por procesos

Como se mencionó anteriormente, la gestión de procesos implica la creación de un sistema de control integral que permita el monitoreo y evaluación de los resultados y el desempeño del proceso. Además, facilita la medición de la satisfacción del cliente, ya sea que se trate de partes interesadas internas o externas. Al aprovechar este sistema de control, las organizaciones pueden identificar eficazmente áreas de mejora o rediseño dentro de sus procesos. Esto, a su vez, permite establecer prioridades y crea un entorno propicio para planificar e implementar acciones destinadas a mejorar la eficiencia y eficacia de los procesos.

Tener un sistema de control ineficaz o incompleto es mucho más perjudicial que no tener ningún sistema de control. Cuando somos conscientes de que una puerta carece de llave, naturalmente nos abstenemos de dejar objetos de valor detrás. Sin embargo, si confiamos erróneamente en que la cerradura está segura cuando en realidad está defectuosa, los riesgos y peligros potenciales aumentan significativamente.

Por tanto, el sistema de gestión del control de procesos abarca un enfoque integral que se centra en evaluar el nivel de satisfacción del cliente alcanzado a través de los distintos procesos ejecutados dentro de la organización. Este sistema comprende una multitud de componentes interconectados que trabajan juntos hacia un objetivo compartido: mejorar la efectividad y eficiencia de estos procesos para, en última instancia, elevar la satisfacción del cliente. En consecuencia, el sistema de control pone énfasis en monitorear factores que ofrecen información tanto sobre los resultados como sobre la funcionalidad de los procesos, así como factores que están estrechamente relacionados con la satisfacción del cliente.

El sistema de control convencional enfatiza principalmente la evaluación de variables financieras. Sin embargo, un sistema de control integral requiere no sólo la evaluación de estas variables sino también la inclusión de otras medidas e indicadores significativos. Estas medidas e indicadores adicionales ofrecen información valiosa para tomar decisiones informadas, lo que lleva a la implementación de acciones proactivas en lugar de depender únicamente de respuestas reactivas como se ve en el sistema de control tradicional.

El concepto de "control de procesos" implica identificar y especificar los elementos que deben regularse para lograr con éxito los objetivos deseados de cada proceso individual. En términos más simples, implica establecer y delinear los objetivos específicos que deben controlarse y monitorearse.

Hay varias razones importantes para medir varios procesos dentro de una empresa. La primera razón es mantener el control sobre estos procesos, asegurando que cualquier variabilidad no deseada o planificada se minimice o elimine por completo. Esto ayuda a garantizar la coherencia y eficiencia en las operaciones de la empresa. La segunda razón para la medición es recopilar información valiosa sobre estos procesos, que luego pueda utilizarse para gestionarlos de forma eficaz. Al comprender cómo se está desempeñando cada proceso, las empresas pueden identificar áreas de mejora y trabajar para lograr los objetivos planificados. En resumen, la medición de procesos es vital para mantener el control, evitar la variabilidad, recopilar información, alcanzar objetivos e impulsar la mejora. Es necesario que las empresas establezcan criterios para monitorear y medir los procesos, asegurando que sean efectivamente gestionados y optimizados para el éxito. Cuando una empresa tiene identificados todos sus procesos, es fundamental establecer criterios que permitan monitorear y medir el dinamismo de los procesos y la mejora continua de los resultados. Esto significa determinar qué aspectos específicos de cada proceso deben medirse para evaluar con precisión su desempeño. Se trata de una desviación del sistema de control tradicional, que puede haberse centrado en mediciones más limitadas.

La siguiente figura (Camisón et al., 2006) muestra un ejemplo de una hoja de indicadores de Qualigramme.

Ficha de Indicador	
Descripción del objetivo a alcanzar	Fidelizar a los clientes
Proceso o subproceso	Proceso <i>Relación con los clientes</i>
Responsable del indicador	Responsable comercial
Respuesta a las exigencias (cliente / normativa / organismo)	Responder a las peticiones de los clientes en 24 horas
Indicador (método de cálculo)	Indicador = número de clientes que pasan al menos un pedido al mes
Valor actual	39 %
Valor objetivo	60 %
Comentario	El indicador se actualiza mensualmente. Se presenta en forma de histograma. El valor objetivo se presenta en forma de línea horizontal roja colocada en el 60 %.

En el gráfico del proceso, los puntos de control y los indicadores asociados están representados por símbolos específicos, como se muestra en la próxima figura.

Símbolo	Nivel	Tipo
	Proceso	indicador
	Procedimiento, instrucción	control de calidad
	Procedimiento, instrucción	control de higiene
	Procedimiento, instrucción	control de seguridad
	Procedimiento, instrucción	control normativo
	Procedimiento, instrucción	control de costes
	Procedimiento, instrucción	control de plazo
	Instrucción	correctiva

Sin embargo, en los procedimientos e instrucciones se utilizan diferentes símbolos para representar diferentes controles durante la ejecución de las tareas. Estos símbolos contienen una letra que indica la naturaleza del control. El Qualigramme, una representación gráfica de indicadores de proceso, proporciona una herramienta útil para medir la efectividad de las acciones tomadas y determinar si se han alcanzado los objetivos planificados para cada acción. Cabe destacar que el Qualigramme asigna indicadores tanto a procesos y procedimientos como a instrucciones de trabajo, para asegurar la efectividad y optimizar los recursos.

En las instrucciones, las operaciones de autocontrol sólo se exigen en aquellas operaciones que presenten riesgo o requieran una vigilancia especial. Estas operaciones de autocontrol siempre tienen asociada al menos una operación correctora. Las características objetivas del producto del proceso son un aspecto importante de la gestión de procesos. Es necesario formalizar los productos de los procesos para poder realizar mediciones de manera efectiva. Esto implica responder cuatro preguntas clave: qué se debe medir, qué herramientas o métodos se utilizarán para la medición, cuándo se deben tomar las mediciones y dónde se deben realizar las mediciones. Una vez respondidas estas preguntas, es importante demostrar el cumplimiento del proceso de medición formalizado.

El funcionamiento del proceso puede evaluarse mediante indicadores de seguimiento y medidas de resultados. Estos dos conceptos están estrechamente relacionados, ya que los indicadores de seguimiento demuestran los métodos utilizados para lograr resultados, mientras que las medidas de resultados muestran los logros reales. En general, la utilización de indicadores y medidas debe centrarse en variables significativas que permitan la identificación de prioridades y el descubrimiento de oportunidades para mejorar los procesos. Para lograrlo, es fundamental que los indicadores, así como las acciones de control y medición, sean aprobados por los responsables de supervisar el proceso.

El proceso de medir la satisfacción del cliente implica recopilar comentarios de los clientes sobre los atributos o dimensiones de calidad que más les importan. Esta información luego sirve

como insumo para otro proceso importante llamado mejora continua. A través de este enfoque sistemático, las empresas pueden recopilar constantemente información de los clientes y utilizarla para mejorar sus productos o servicios.

Durante este proceso particular, los indicadores que se utilizan suelen implicar medidas subjetivas, ya que se basan en percepciones. Estos indicadores particulares plantean un desafío mayor cuando se trata de medición en comparación con los indicadores objetivos y, por lo tanto, deben emplearse como indicadores complementarios o como indicadores primarios para aspectos que no pueden evaluarse por ningún otro medio.

Al determinar los indicadores, es importante considerar que el costo de recopilar información no debe exceder el valor de la información obtenida. Existen diversos métodos para recopilar información, como realizar entrevistas a clientes, encuestas o analizar sugerencias y opiniones para implementar el proceso de mejora continua.

La empresa cuenta con diversos instrumentos para la realización de evaluaciones de procesos, destacando la auditoría interna y la autoevaluación. Estas herramientas deben utilizarse en conjunto, ya que tienen diferentes propósitos. Además, también discutimos la ecoauditoría como una herramienta de gestión crucial para los procesos vinculados a preocupaciones ambientales.

Auditoría interna

La auditoría interna no es una tarea única, sino un proceso integral que consta de una serie de actividades. Estas actividades producen un resultado valioso para el usuario o cliente y se inician con una entrada. Para gestionar eficazmente este proceso, se utiliza el ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act)³, al igual que con otros procesos. Además, dentro del sistema de gestión de calidad, la auditoría interna está interconectada con los demás procesos y sirve como una poderosa herramienta para implementar la fase "C" del ciclo PDCA. Esta fase requiere tomar algún tipo de acción, ya sea correctiva, preventiva o de mejora, para completar el ciclo de gestión.

La auditoría interna sirve como un mecanismo valioso para evaluar y supervisar diversos procesos dentro de una organización. Es esencial reconocer que la auditoría interna en sí misma es un proceso que genera resultados informativos y posteriormente facilita la creación de procesos de mejora innovadores. A diferencia de la auditoría externa, la auditoría interna la llevan a cabo personas dentro de la organización y se centra principalmente en el control. En consecuencia, se considera ampliamente como un medio eficaz para garantizar un control integral. De hecho, a

³El ciclo PDCA, también conocido como Ciclo de Deming, se considera una **metodología de gestión que busca la mejora constante de los procesos**; consta de cuatro pasos: planificar (plan), hacer (do), verificar (check) y actuar (act).

menudo se hace referencia a la auditoría interna como "el control de controles" debido a su papel fundamental en el seguimiento y la gestión de los controles organizacionales.

Es importante señalar que, si bien los tres tipos de auditorías son esenciales en la gestión de procesos, las auditorías operativas o de gestión son particularmente cruciales. Estas auditorías no sólo aseguran la rentabilidad sino que también garantizan la estabilidad y continuidad de los procesos. En el ámbito de la gestión de procesos, las auditorías internas se llevan a cabo para cada proceso individual dentro de una organización.

Las auditorías tienen como objetivo determinar si los procesos contribuyen a los objetivos y la misión general de la organización. Es crucial garantizar que todos los procesos funcionen juntos de manera armoniosa para crear un sistema cohesivo. Esto se logra mediante un examen exhaustivo de los propósitos de cada proceso y cómo se alinean con la misión de la organización. Así, en la gestión de procesos, el método de "confiabilidad de los controles" se emplea comúnmente para integrar auditorías de verificación, de procedimiento y operativas. Este método implica analizar los objetivos de los controles para garantizar que estén bien definidos, sean lógicos y capaces de lograr el propósito del proceso. Asimismo, verifica la existencia y adecuación de las técnicas de control y vela por su correcta aplicación. Finalmente, el análisis de resultados determina si el objetivo de control auditado se ha cumplido exitosamente.

Existen varios tipos de auditorías, tal como lo señalan Camisón et al.. (2003):

- El primer tipo es la auditoría de verificación, que evalúa si el proceso auditado ha logrado sus objetivos planificados en función de la información que utiliza.
- El segundo tipo es la auditoría de procedimientos, que verifica el cumplimiento de los procedimientos establecidos. Garantiza que el proceso se ejecute según las pautas predeterminadas por personas autorizadas.
- Por último, la auditoría operativa o de gestión evalúa la idoneidad y exactitud de las actividades realizadas dentro del proceso, así como la utilización eficiente de los recursos. Se centra en garantizar la rentabilidad de la empresa.

Para proporcionar una comprensión más clara de estos conceptos, consideremos un ejemplo de cada tipo de auditoría dentro del proceso de "compra de materias primas" de una hipotética empresa industrial. En la auditoría de verificación el objetivo es confirmar si se han adquirido las materias primas requeridas para el proceso productivo, si se ha realizado el pago y si se han tomado las medidas contables adecuadas para reconocer los activos. La auditoría operativa se centra en determinar si las materias primas se adquirieron al mejor precio posible, si el pedido se realizó en el momento adecuado y si se pudieron optimizar los tiempos de entrega al proceso de producción. La auditoría de procedimientos, por otro lado, examina si se han seguido todos los pasos necesarios para una operación específica según lo establecido en los procedimientos y

estándares de la empresa. Por ejemplo, verifica si quienes realizaron el pedido estaban autorizados para hacerlo, si se consideraron los tiempos de entrega de la mercancía al seleccionar al proveedor y si los materiales están llegando a tiempo al proceso productivo.

Normalmente, el proceso de auditoría interna consta de varias etapas que se ejecutan de forma secuencial:

- La etapa inicial de planificación y preparación para una auditoría interna implica realizar una investigación exhaustiva. Durante esta fase, el auditor se familiariza con el proceso específico que va a ser auditado, así como con la información, procedimientos, instrucciones y responsabilidades disponibles relacionadas con el proceso. En esencia, el auditor pretende obtener una comprensión integral de los procesos involucrados. El objetivo principal de esta etapa es desarrollar un plan de auditoría bien estructurado que facilitará la ejecución fluida de las fases posteriores del proceso de auditoría.
- La segunda etapa de la auditoría interna implica un examen y una documentación exhaustivos de los procesos dentro de la organización. Durante esta fase, el foco está en obtener información relevante y determinar si los procesos están alineados con las expectativas y lineamientos. Esto incluye revisar las diversas definiciones y descripciones de los procesos como se describe en la documentación del sistema. Además, es crucial garantizar que todas las actividades y funciones asociadas con cada proceso estén claramente asignadas a personas específicas dentro de la organización, quedando en última instancia bajo la responsabilidad de la persona encargada de supervisar el proceso.
- El auditor prepara un informe que resume sus hallazgos de manera concisa y comprensible. Este informe destaca cualquier debilidad identificada en el proceso y sugiere acciones correctivas o de mejora si es necesario. Asimismo, para garantizar la eficacia del proceso de auditoría interna, es necesaria una medición y un seguimiento periódicos según el calendario anual. Es importante repetir el proceso de auditoría periódicamente para minimizar la dificultad, el tiempo y el costo involucrados en auditorías sucesivas. Esto se debe a que no todas las auditorías requieren la misma cantidad de pasos y análisis que las anteriores. Durante la fase de ejecución, la atención debe centrarse en identificar cualquier posible desviación con respecto a la última revisión o auditoría realizada.

Eco auditoría

Con el tiempo, el propósito y la sustancia de las auditorías ambientales han sufrido transformaciones significativas, paralelas a los avances en las políticas ambientales. Inicialmente, las auditorías se centraron principalmente en evaluar el cumplimiento de la normativa legal. Sin embargo, con el advenimiento de enfoques proactivos y la anticipación de las expectativas sociales, estas auditorías se han convertido en componentes integrales de un Sistema de Gestión

Ambiental (SIGMA) más amplio. Ahora, sirven como una herramienta de gestión integral, que abarca una evaluación metódica, bien documentada, regular e imparcial de las acciones ambientales de una organización, encaminadas a salvaguardar el medio ambiente:

- Al facilitar el control de gestión, las organizaciones están mejor equipadas para supervisar y regular sus prácticas ambientales, asegurando que estén en línea con los objetivos y regulaciones de sostenibilidad. Esto incluye implementar sistemas de monitoreo eficientes, establecer pautas y protocolos claros y proporcionar los recursos y el apoyo necesarios para una gestión ambiental efectiva. Con un control mejorado, las organizaciones pueden realizar un seguimiento más eficaz de su impacto ambiental, identificar áreas de mejora e implementar estrategias para mitigar los efectos negativos en el medio ambiente. En última instancia, esto conduce a prácticas comerciales más responsables y sostenibles que benefician tanto a la organización como al medio ambiente.
- Es importante evaluar en qué medida las organizaciones cumplen con sus políticas internas, asegurando que cumplen con los estándares marcados por la legislación. La evaluación del cumplimiento se vuelve crucial para garantizar que las empresas operen dentro del marco legal, evitando posibles violaciones o sanciones. Al examinar el grado en que las políticas de la empresa se alinean con los requisitos legislativos, las organizaciones pueden evaluar su eficacia en el cumplimiento de las regulaciones necesarias y realizar los ajustes necesarios para garantizar el pleno cumplimiento. Este proceso de evaluación sirve como una herramienta vital para que las organizaciones monitoreen la implementación de sus políticas e identifiquen áreas de mejora para alcanzar el grado de cumplimiento requerido.

El Reglamento EMAS⁴ proporciona una definición de auditoría medioambiental muy similar a la anterior. Según esta normativa, se considera una auditoría ambiental una herramienta de gestión que implica una evaluación sistemática, documentada, regular e imparcial de la eficacia de una organización en términos de su sistema de gestión y procedimientos para salvaguardar el medio ambiente. En otras palabras, una auditoría ambiental tiene como objetivo evaluar qué tan bien se está desempeñando una organización en términos de protección ambiental:

- La auditoría debe seguir un enfoque sistemático que incorpore una metodología particular, asegurando que su proceso esté estandarizado. Esta estandarización no sólo mejora la confiabilidad y objetividad de la auditoría sino que también facilita la capacidad de realizar análisis comparativos.

⁴ El Reglamento EMAS, también conocido como Sistema de Gestión y Auditoría Medioambientales, es un marco integral establecido por la Unión Europea. Proporciona directrices para que las organizaciones, independientemente de su naturaleza o ubicación, implementen un sistema eficaz de gestión y auditoría ambiental. Este esquema opera a escala global, asegurando que organizaciones de todos los sectores puedan participar y contribuir a prácticas sostenibles.

- La documentación es un aspecto crucial del proceso de auditoría, ya que garantiza que toda la información relacionada con la auditoría, incluido el procedimiento seguido y los resultados obtenidos, se registre en un formato al que pueda acceder fácilmente cualquier persona involucrada o interesada en la auditoría. Esta documentación sirve como un registro integral que brinda transparencia y responsabilidad, permitiendo a las partes interesadas comprender el proceso de auditoría y sus hallazgos. Al tener una auditoría bien documentada, resulta más fácil compartir información, comunicar hallazgos y abordar cualquier inquietud o pregunta que pueda surgir. Además, una documentación exhaustiva ayuda a facilitar auditorías futuras, ya que proporciona un punto de referencia histórico y permite a los auditores aprovechar el trabajo anterior. Por lo tanto, el acto de documentar la auditoría no es sólo un requisito necesario sino también una práctica esencial que contribuye a la eficacia y credibilidad generales del proceso de auditoría.
- Fiabilidad; la recopilación y el procesamiento de datos deben ser rigurosos y creíbles, proporcionando una imagen verdadera y completa de la organización en términos de su relación con el medio natural.
- La periodicidad se refiere a la práctica de realizar auditorías periódicas, que tienen como objetivo monitorear el funcionamiento de SIGMA y evaluar la eficacia de las decisiones tomadas. Al realizar estas auditorías a intervalos establecidos, las organizaciones pueden obtener información valiosa sobre cómo está operando SIGMA y determinar si las decisiones tomadas están produciendo los resultados deseados. Este análisis periódico permite a las empresas realizar ajustes y mejoras informados para mejorar la eficacia general de SIGMA.
- La objetividad es un aspecto crucial al realizar una auditoría. Es fundamental que la auditoría se guíe por principios de independencia y profesionalismo, con fuerte énfasis en evitar prácticas poco éticas que puedan tener como objetivo ocultar o manipular la verdadera situación dentro de la empresa. Al adherirse a estos criterios, el proceso de auditoría puede garantizar la transparencia y precisión en la evaluación de la situación financiera y el desempeño de la empresa. Mantener la objetividad durante toda la auditoría es de suma importancia, ya que ayuda a proporcionar una evaluación confiable e imparcial, lo que permite a las partes interesadas tomar decisiones informadas basadas en la imagen real de los asuntos de la empresa. Es vital defender estos principios para defender la integridad de la auditoría y mantener la confianza pública en el sistema de información financiera.

Entre los objetivos de la auditoría SIGMA cabe destacar los siguientes puntos:

- Comprobar el cumplimiento por parte de SIGMA de su normativa.
- Evaluar el cumplimiento por parte de SIGMA de los requisitos de una norma específica.

- Determinar la efectividad de SIGMA en el logro de objetivos de gestión ambiental preestablecidos.
- Evaluar el nivel de logro en el cumplimiento de las metas y objetivos ambientales.
- Una forma de facilitar la mejora continua es ofreciendo oportunidades para mejorar SIGMA. El proceso de realización de una auditoría ambiental comparte muchas similitudes con el de una auditoría de calidad. Estas auditorías pueden ser realizadas tanto por expertos internos como por consultores externos contratados por la empresa.

Autoevaluación

La autoevaluación sirve como una herramienta valiosa en el ámbito de la gestión de procesos. Al realizar un examen sistemático y periódico de los procesos y sus resultados, permite identificar áreas que requieren corrección, prevención o mejora. Esencialmente, la autoevaluación funciona como un proceso de diagnóstico que evalúa la eficacia de la gestión de la organización dentro de la empresa.

Hay varios beneficios que se obtienen al utilizar este enfoque. Una de las principales ventajas es la capacidad de identificar áreas que necesitan mejora y tomar las acciones necesarias en función de esos hallazgos. Esto no sólo se aplica a las personas responsables de la autoevaluación sino también a los equipos con los que trabajan. Al utilizar este método, resulta más fácil cultivar una cultura compartida dentro de la organización. Además, refuerza constantemente el proceso de cambio y facilita el crecimiento y el aprendizaje continuos al identificar y resolver cualquier problema que surja. La autoevaluación constituye un valioso complemento de la auditoría interna y complementa eficazmente sus funciones. Ofrece un enfoque sistemático para la evaluación y seguimiento de procesos, y ha sido incorporado en el marco de las normas ISO 9000.

Mejora y el desarrollo de procesos

La Gestión de la Calidad Total (TQM) es un enfoque integral que tiene como objetivo mejorar los procesos de una organización mediante la aplicación de diversos principios, herramientas y técnicas. Estas técnicas abarcan tanto métodos estadísticos como estrategias creativas de resolución de problemas. Al centrarnos en estas técnicas específicas, nuestro objetivo es proporcionar una comprensión profunda de cómo se pueden utilizar de manera efectiva para optimizar los procesos organizacionales.

A la hora de realizar un análisis de los procesos de una organización y su potencial de mejora, podemos encontrarnos con varios escenarios. Como resultado, hay dos tipos de mejoras que se pueden implementar: mejoras estructurales y mejoras operativas. Se requieren mejoras estructurales cuando un proceso opera a un nivel muy bajo en múltiples aspectos y no logra cumplir

sus objetivos. Asimismo, estas mejoras son necesarias cuando un proceso carece de estructura, las personas no siguen procedimientos consistentes y el proceso no se encuentra en un estado estable y controlado. Estos temas son principalmente de naturaleza conceptual y requieren el uso de herramientas y técnicas creativas o conceptuales, como las siete Nuevas Herramientas para la Gestión de la Calidad, encuestas a clientes, reingeniería y otros métodos aplicables.

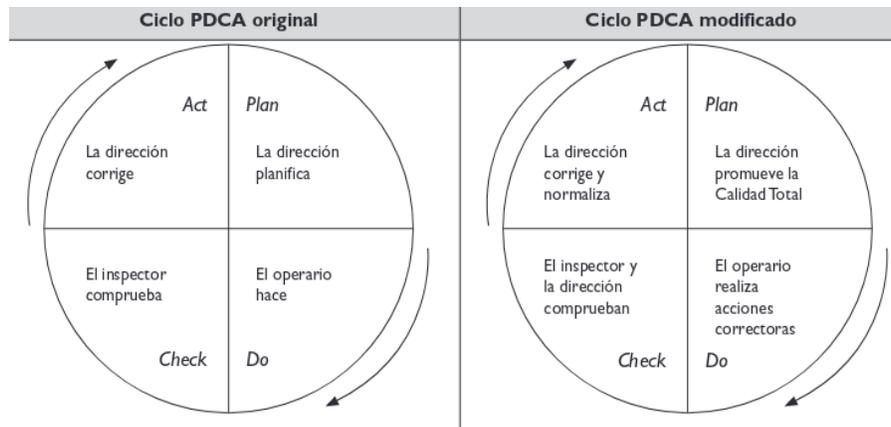
Por otro lado, las mejoras funcionales son necesarias cuando un proceso tiene un desempeño deficiente y no logra sus objetivos de efectividad o eficiencia. En este caso, el objetivo es hacer que el proceso funcione de manera más efectiva o eficiente. Para lograrlo, puede resultar valioso el uso de las siete herramientas clásicas para la gestión de la calidad, los sistemas de sugerencias, el diseño de experimentos y otros enfoques basados en datos.

Mejora continua: PDCA

El ciclo PDCA, también conocido como ciclo Planificar, Hacer, Verificar, Actuar, es un proceso eficaz que, cuando se combina con el enfoque tradicional de resolución de problemas, permite a las organizaciones mejorar la calidad de sus operaciones. Esta metodología sirve como marco para la mejora continua y resulta muy ventajosa en la gestión de diversos procesos dentro de una organización. Al seguir el ciclo PDCA, las organizaciones pueden esforzarse constantemente por alcanzar la excelencia y lograr avances significativos en su desempeño general.

En la década de 1950, Deming introdujo el ciclo PDCA en Japón, reconociendo que W. A. Shewhart fue el creador original que lo había dado a conocer al público allá por 1939. Comúnmente se lo conoce como el "ciclo de Shewhart" o el "Ciclo de Deming". Esta nomenclatura intercambiable fue destacada por Ishikawa en 1986 (Camisón et al., 2006).

El ciclo PDCA, que se ha utilizado en Japón como metodología para la mejora continua desde sus inicios, encuentra aplicación en varios escenarios. La versión original de este ciclo, como se muestra en la figura, se basa en la división del trabajo entre la gerencia, los inspectores y los operadores, y abarca cuatro fases o etapas distintas. Para iniciar el ciclo, la dirección examina cuidadosamente la situación actual para diseñar un plan de mejora integral. Posteriormente, es responsabilidad de los operadores realizar el plan con diligencia.



Después de la ejecución, los inspectores evalúan meticulosamente el proceso de implementación para determinar si los objetivos previstos se han logrado con éxito. Finalmente, la dirección realiza un análisis exhaustivo de los resultados, con el objetivo de estandarizar el método y garantizar que las mejoras realizadas sean sostenibles. En el raro caso de que no se hayan logrado los resultados deseados, la gerencia trabaja para desarrollar acciones correctivas.

Sin embargo, la implementación de este ciclo en Japón reveló deficiencias en las acciones preventivas, lo cual es un factor importante que considerar si el objetivo es la mejora continua (Imai, 1991). Como resultado, el ciclo se modificó, dando lugar al nuevo ciclo PDCA, Bajo este nuevo enfoque, la gerencia formula planes de mejora utilizando herramientas estadísticas como diagramas de Pareto, diagramas de columna e histogramas. Luego, los operadores ponen en práctica estos planes en sus áreas de trabajo específicas, completando el ciclo PDCA completo. La gerencia y los inspectores evalúan si se han logrado las mejoras deseadas y, si es necesario, la gerencia hace correcciones y establece métodos estandarizados para evitar problemas futuros. Este proceso continúa, asegurando que cada vez que se identifica una mejora, el método se estandariza y analiza para futuras mejoras a través de nuevos planes.

Según la investigación de Ishikawa en 1989, el ciclo se puede dividir en varias etapas y pasos:

- El primer paso es crear un plan detallado. Este plan actúa como una hoja de ruta para lograr sus objetivos y le ayuda a mantenerse concentrado y organizado. Implica dividir sus objetivos en tareas más pequeñas y manejables y establecer plazos para cada una. Además, incluye identificar posibles obstáculos o desafíos que puedan surgir y desarrollar estrategias para superarlos. Al contar con un plan bien pensado, aumenta sus posibilidades de éxito y minimiza el riesgo de desviarse. La planificación también le permite asignar su tiempo y recursos de manera efectiva, asegurando que esté trabajando para alcanzar sus objetivos de la manera más eficiente posible. Por lo tanto, es necesario tomar el tiempo para planificar y delinear cuidadosamente tu camino hacia el éxito antes de sumergirte en cualquier proyecto o esfuerzo. Recuerde, no planificar es planificar el fracaso:

- Establecer las metas u objetivos de un esfuerzo o proyecto en particular.
- Tomar una determinación con respecto a las estrategias y técnicas que se emplearán para lograr el objetivo deseado.
- Realizar o llevar a cabo una acción (do):
 - Implementación de educación y formación.
 - Cumplimiento de la tarea en cuestión.
- Asegurarse de que todo esté correcto o en orden (check):
 - Verificar los resultados.
- El cuarto elemento es el acto (act), que se refiere a las acciones físicas o verbales que realizan los personajes en una obra de teatro o representación. Implica el movimiento, los gestos y el diálogo utilizados para transmitir la historia y expresar las emociones de los personajes. El acto es un componente crucial de cualquier producción teatral, ya que da vida al guión escrito y permite al público involucrarse con la narrativa a nivel visual y auditivo. A través de sus acciones, los actores pueden comunicar las intenciones, deseos y conflictos de sus personajes, creando una experiencia convincente e inmersiva para la audiencia. El acto también ayuda a establecer el ritmo y la estructura de la actuación, y cada acto suele representar una parte específica de la historia o un punto de inflexión significativo. Además, el acto se puede utilizar para establecer el escenario, el período de tiempo y la atmósfera de la obra, mejorando aún más la experiencia teatral general. Ya sea que se trate de un monólogo dramático, una intensa escena de pelea o una conversación sincera, el acto es un elemento fundamental del teatro que permite a los artistas darle vida a la historia y cautivar la atención del público:
 - Aplicación de una acción

Después de implementar las medidas necesarias para la aplicación de una acción, el paso siguiente implica reevaluar el plan para determinar la efectividad de la acción correctiva tomada.

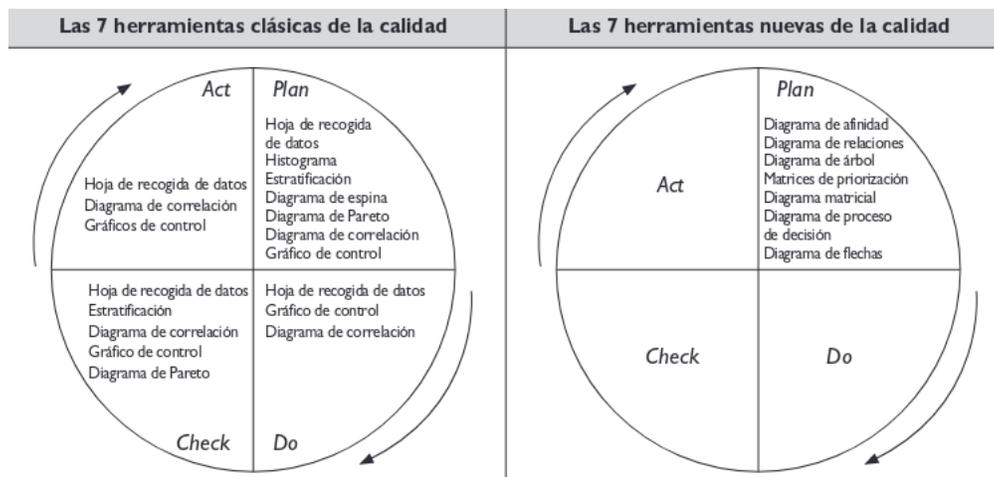
El plan (primera etapa)

El primer paso del proceso es definir y articular claramente los objetivos y metas que deben alcanzarse. Es importante garantizar que estos objetivos sean específicos y mensurables, en lugar de vagos y abstractos. Por ejemplo, en lugar de establecer el objetivo de "obtener buena calidad", sería más eficaz especificar un objetivo como "reducir el número de piezas defectuosas en un 50% con respecto al trimestre anterior entre enero y marzo". Del mismo modo, en lugar de un objetivo de "reducir costes", sería más preciso fijarse el objetivo de lograr una reducción de costes del 5%

a partir de abril. Al establecer objetivos específicos con plazos claros, resulta más fácil realizar un seguimiento del progreso y evaluar la eficacia de las estrategias implementadas.

El segundo paso del proceso es determinar las estrategias y técnicas que se utilizarán para alcanzar los objetivos deseados. Simplemente establecer objetivos y metas es insuficiente; es imperativo definir los métodos y enfoques específicos que se emplearán para lograrlos con éxito. Estos métodos abarcan los estándares técnicos y operativos que abordan los factores fundamentales o las causas fundamentales que impactan los procesos generales. Es esencial que estas reglas y estándares se alineen de manera coherente entre sí y faciliten la delegación adecuada de autoridad y responsabilidad.

Para abordar eficazmente cualquier problema o problema potencial, es fundamental seguir un enfoque sistemático que implique priorizar en función de criterios específicos, establecer objetivos claros, analizar exhaustivamente la situación actual e identificar las causas potenciales. Es importante diferenciar entre causas comunes, que son inherentes al proceso, y causas especiales, que son esporádicas e inesperadas. Además, para formular un plan de mejora o acción correctiva, se pueden utilizar tanto las siete herramientas de calidad clásicas como las siete herramientas nuevas, como se muestra en la figura.



Estas herramientas proporcionan información y técnicas valiosas que ayudan a identificar y resolver inquietudes relacionadas con la calidad.

Hacer (segunda etapa)

Proporcionar formación y educación. Para implementar el plan desarrollado en la etapa anterior es necesario entender los estándares establecidos y saber aplicarlos. En esta etapa, todas las personas involucradas reciben la educación y capacitación necesarias, y la capacitación es de tres tipos:

- Colectivo;

- de superior a subordinado en el lugar de trabajo, y
- empoderar a las personas otorgándoles autoridad sobre su propio trabajo.

Luego se requiere realmente llevar a cabo el trabajo poniendo en práctica los estándares que se establecieron durante la fase de planificación.

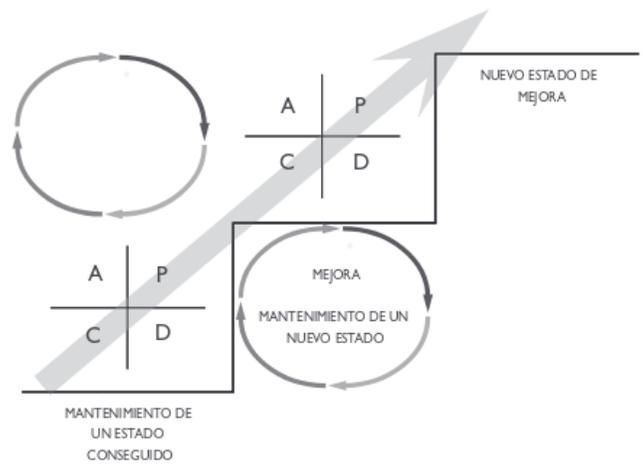
Chequear (tercera etapa)

Lo primero del proceso es comprobar los resultados y garantizar que el trabajo se esté llevando a cabo según lo previsto. Esto implica observar el lugar de trabajo para garantizar que todo funcione según lo previsto y que los factores clave estén bajo control. Además, implica examinar los resultados del trabajo para identificar cualquier anomalía o problema que pueda haber ocurrido. Es esencial comprender la diferencia entre controlar a través de algo y controlar ese algo, ya que el control no requiere necesariamente inspección. En cambio, implica monitorear los procesos y actividades comerciales mediante el análisis de los resultados y el uso de esa información para realizar mejoras y eliminar cualquier causa de anomalías. Esta etapa no se limita solo al control de calidad, sino que también puede incluir la verificación de los costos unitarios, el volumen de producción, el volumen de ventas y otros factores relevantes. Los gráficos de control, entre otras herramientas, son útiles para detectar anomalías y estratificar los datos recopilados para identificar sus causas.

Acto (cuarta etapa)

En la etapa final del ciclo PDCA, se aplica una acción para confirmar el logro del objetivo o identificar que no se ha cumplido. En el primer escenario, donde se ha logrado el objetivo, se debe tener cautela al considerar el éxito. La atención se centra ahora en normalizar los procedimientos y establecer condiciones que permitan mantener el objetivo. Esto implica implementar acciones correctivas a procesos, operaciones y procedimientos, así como ampliar la capacitación y las medidas correctivas si es necesario. Además, es crucial asegurar que estas medidas se estén aplicando correctamente y sean efectivas, permitiendo que la organización continúe operando según lo planeado. Por otro lado, si no se ha logrado el objetivo, se deben identificar y eliminar las anomalías en los procesos y sus causas subyacentes. Esto iniciará un nuevo ciclo PDCA, comenzando nuevamente desde la etapa de Planificación.

La representación gráfica se ilustra cómo la organización puede mejorar consistentemente su desempeño mediante la implementación de una serie de ciclos PDCA ininterrumpidos. Al garantizar que estos ciclos funcionen continuamente sin interrupciones, la organización gestiona eficazmente el proceso de mejora continua.



La reingeniería en los procesos

El concepto de Reingeniería de Procesos de Negocio (BPR) surgió a finales de los años 1980 y ganó impulso a lo largo de los años 1990. En particular, fue popularizado por Hammer y Champy, quienes lo definieron como una evaluación y rediseño integral de procesos con el objetivo de lograr mejoras significativas en métricas críticas de desempeño como costo, calidad, servicio y velocidad. BPR sirve como un sistema que mejora la competitividad y rentabilidad de una empresa al reducir costos, optimizar los tiempos de entrega y mejorar la calidad del producto y el servicio al cliente.

Hoy en día, BPR se considera una técnica para optimizar todos los procesos organizacionales mediante la realización de rediseños radicales que conduzcan a avances sustanciales en los estándares de calidad o la eliminación de procesos que no agregan valor, en contraposición a la mera reestructuración de procesos que normalmente se ve en los métodos tradicionales. La Gestión de la Calidad Total (TQM), como filosofía de gestión, proporciona un marco ideal para respaldar la BPR, ya que requiere principios como la orientación al cliente, el liderazgo de la dirección, cambios en los valores y creencias organizacionales, el compromiso de los empleados y un enfoque en los procesos en lugar de las funciones. .

Asimismo, la reingeniería está impulsada por la tecnología y la automatización. Aprovecha herramientas y tecnologías innovadoras para optimizar procesos, eliminar actividades redundantes y mejorar la eficiencia. La automatización desempeña un papel crucial en la reducción de la intervención manual y el error humano, lo que permite a las organizaciones alcanzar mayores niveles de productividad y precisión. En segundo lugar, la reingeniería enfatiza una perspectiva centrada en el cliente. Al centrarse en las necesidades y expectativas del cliente, la reingeniería tiene como objetivo rediseñar los procesos para ofrecer valor y satisfacción superiores. Esto

implica una comprensión profunda de los requisitos del cliente y alinear los procesos en consecuencia para satisfacer esas demandas de manera efectiva.

En esencia, la reingeniería se destaca por su enfoque integral, perspectiva centrada en el cliente, colaboración interdisciplinaria, enfoque impulsado por la tecnología, mentalidad de mejora continua y la necesidad de un fuerte liderazgo y habilidades de gestión del cambio. Estas características hacen de la reingeniería una metodología poderosa para las organizaciones que buscan un cambio transformador y un éxito sostenible en el dinámico entorno empresarial actual. Otra característica de la reingeniería es su naturaleza multifuncional. Requiere colaboración y coordinación entre varios departamentos y funciones dentro de una organización para garantizar una transformación holística. Este esfuerzo colaborativo garantiza que los procesos rediseñados se integren y alineen perfectamente en toda la organización.

La reingeniería posee varias características únicas que la distinguen de otras metodologías de mejora empresarial. En primer lugar, la reingeniería es un enfoque integral que apunta a transformar y revolucionar completamente los procesos de una organización en lugar de realizar cambios incrementales. Implica un examen crítico de los procesos existentes y la identificación de oportunidades para mejoras y mejoras radicales.

Por último, la reingeniería requiere un fuerte liderazgo y capacidades de gestión del cambio. La implementación de iniciativas de reingeniería a menudo implica cambios organizacionales significativos, que pueden encontrar resistencia. Las habilidades efectivas de liderazgo y gestión del cambio son esenciales para superar la resistencia, lograr la aceptación de las partes interesadas e impulsar con éxito el proceso de reingeniería. Además, la reingeniería es un proceso continuo e iterativo. Implica un seguimiento y una evaluación continuos para identificar áreas que requieren mejoras adicionales. Este enfoque iterativo permite a las organizaciones adaptarse y responder eficazmente a las dinámicas cambiantes del mercado y a las necesidades de los clientes.

Para llevar a cabo con éxito el proceso de reingeniería, es importante comprender y considerar las características clave que típicamente se asocian con este enfoque. Estas características, que son compartidas por los procesos de reingeniería en diversas industrias y sectores, se describen en detalle a continuación.

Una estrategia para aumentar la eficiencia y eficacia en el lugar de trabajo es consolidar múltiples puestos en una sola función. Esto se puede lograr minimizando la distinción entre tareas y promoviendo un enfoque más colaborativo dentro de un equipo. Al unificar tareas, los equipos pueden optimizar su flujo de trabajo, lo que reduce las limitaciones de tiempo y mejora la calidad general. Además, esta consolidación elimina la necesidad de una supervisión constante, lo que permite a las personas apropiarse de su trabajo y cometer menos errores.

Una forma de aumentar la eficiencia y optimizar las operaciones dentro de una organización es combinar las funciones de toma de decisiones y ejecución. Esto significa reducir el nivel de especialización dentro de la jerarquía y permitir que los trabajadores tengan más autonomía en sus procesos de toma de decisiones. En este escenario, los trabajadores se convierten esencialmente en sus propios jefes, asumiendo la responsabilidad de su trabajo y tomando decisiones relacionadas con el mismo. Este enfoque aporta varias ventajas, incluido el ahorro de costes y tiempo, ya que la estructura organizativa se simplifica y se hace más eficiente tanto vertical como horizontalmente. Al empoderar a los empleados para que se apropien de su trabajo, las organizaciones pueden lograr una mayor agilidad y capacidad de respuesta, lo que conduce a mejores resultados y al éxito general.

El orden natural de las fases de los procesos permite un flujo de trabajo más eficiente, ya que elimina la necesidad de una secuencia lineal y por tanto reduce los plazos:

- Un aspecto de los procesos que las empresas deberían considerar es la existencia de múltiples versiones. Estas versiones se implementan dependiendo de las características específicas del producto o servicio que se ofrece. Al hacerlo, las empresas pueden adaptarse mejor a las necesidades y preferencias individuales de sus clientes. Es crucial que el diseño del proceso abarque la amplia gama de segmentos de mercado a los que atiende la empresa.
- El trabajo se lleva a cabo en los lugares más lógicos, lo que significa que la disminución del nivel de especialización requerido para ciertos roles también disminuye la necesidad de transferir trabajo entre varios departamentos.
- Una forma de mejorar la flexibilidad organizacional es reduciendo los controles y verificaciones, implementándolos sólo cuando su justificación económica sea evidente. Al eliminar las actividades de control y revisión que no aportan valor, la estructura organizacional general se vuelve más adaptable.
- El proceso de conciliación, que involucra actividades que no aportan valor, se minimiza reduciendo el número de puntos de contacto externos. Esta disminución de los puntos de contacto reduce la probabilidad de encontrar información contradictoria que requeriría la necesidad de una conciliación.
- El gestor de contactos es un individuo que funciona como puente entre un agente externo y un proceso, sirviendo como dispositivo de conexión. Desde la perspectiva del agente externo, el gestor de contactos asume el rol de responsable de todo el proceso. Sin embargo, dentro de la empresa, el responsable de contactos asume la responsabilidad de coordinar varios aspectos del proceso.
- Alternativamente, existe otro enfoque en el que las actividades iniciales de la cadena de valor están centralizadas, pero a medida que el proceso se acerca al cliente, la

descentralización se convierte en la norma. Esta distinción resalta la importancia de encontrar el equilibrio adecuado entre centralización y descentralización para satisfacer eficazmente las necesidades tanto de la organización como de los usuarios finales. En el ámbito del desarrollo de software, existen dos tipos de organizaciones que operan basándose en el concepto de “Front-End/Back-End”. Estas organizaciones pasan por un proceso de reingeniería, que conduce al establecimiento de una estructura que gira en torno a una serie de procesos. Inicialmente, estos procesos están centralizados, pero a medida que avanza el desarrollo, se vuelven más descentralizados.

Fundamentos de la reingeniería

Los principios clave en los que se basa la reingeniería son :

- La dirección desempeña un papel crucial a la hora de liderar y supervisar el desarrollo de todo el programa. Su orientación y dirección son necesarias para garantizar el éxito del programa y su implementación efectiva.
- La estrategia de la empresa juega un papel crucial en la dirección e impulso de los programas de reingeniería, ya que apuntan a establecer y mantener una ventaja competitiva. El objetivo general de estos programas es generar valor sustancial para el cliente. Al alinear las iniciativas estratégicas con los esfuerzos de reingeniería, la empresa puede mejorar efectivamente su posición en el mercado y satisfacer las necesidades y preferencias cambiantes de su público objetivo. Este enfoque estratégico no sólo permite a la organización mantenerse por delante de sus competidores sino que también fomenta la lealtad y satisfacción del cliente a largo plazo. En consecuencia, la empresa puede prosperar en el panorama empresarial altamente competitivo de hoy si se esfuerza continuamente por crear soluciones innovadoras y valiosas que satisfagan las demandas siempre cambiantes de los clientes.
- Seguimiento y evaluación continua de las necesidades de los clientes y del nivel de satisfacción que experimentan.
- Existe una demanda creciente de equipos de trabajo que no sólo posean habilidades y capacidades excepcionales sino que también demuestren un fuerte sentido de responsabilidad.
- Para implementar efectivamente el programa de reingeniería, es esencial tener flexibilidad. Esto significa que los planes de acción deben ser adaptables y abiertos a modificaciones a medida que avanza el programa y se observan y evalúan los resultados.
- Establecer sistemas adecuados para medir el cumplimiento de los objetivos.

- Es fundamental prestar la debida consideración al cambio, particularmente en términos de su impacto en las personas, para mitigar cualquier resistencia que pueda surgir. Esta resistencia puede provocar potencialmente retrasos o incluso el fracaso del programa. Por lo tanto, es fundamental evaluar, planificar y ejecutar minuciosamente el cambio. Esto implica la capacidad de visualizar y simular los cambios propuestos, así como analizar su impacto general.
- La reingeniería debe verse como un proceso continuo y perpetuo dentro de una organización, en lugar de verse como un evento único. Implica enfrentar y abordar constantemente nuevos desafíos que surgen con el tiempo.
- La comunicación efectiva es un componente vital que juega un papel crucial en el correcto funcionamiento y el triunfo final del programa. Esto no se limita a la comunicación interna dentro de los diferentes niveles de la organización, sino que se extiende más allá de sus límites para abarcar también la comunicación externa.

Implantación de la reingeniería de proceso

El programa de reingeniería implica una serie de ocho pasos que deben implementarse. Es importante señalar que estos pasos no necesariamente tienen que realizarse en un orden específico, ya que algunos de ellos se pueden realizar simultáneamente. Es crucial enfatizar que el foco de la reingeniería debe estar en lograr resultados en lugar de completar tareas individuales:

- La identificación de los diversos procesos que ocurren dentro de la organización. Esto implica realizar un análisis integral de cada proceso en su estado actual de desarrollo. Este análisis implica examinar minuciosamente las diferentes tareas, flujos de información, procedimientos y técnicas que se utilizan, y comprender las razones subyacentes de su implementación actual. Al hacerlo, es posible identificar tareas repetitivas, así como posibles problemas o disfunciones que puedan existir dentro de los procesos.
- La identificación y selección de los procesos que requieren mejora. Esto incluye identificar procesos que actualmente son ineficientes, ineficaces o que enfrentan problemas o disfunciones. Además, también se seleccionan procesos con potencial de mejora. Además, es importante determinar el nivel apropiado de autoridad formal que debería ser responsable de modificar estos procesos.
- Es crucial comprender a fondo los diversos procesos involucrados. Cada proceso seleccionado es examinado cuidadosamente una vez más, con un nivel de detalle aún mayor si es posible. Se evalúa el objetivo de cada proceso para determinar si es adecuado. Además, se cuestiona la necesidad de que se realicen todas las tareas. ¿Es esencial que la unidad realice todas las tareas que actualmente realiza o podrían ser ejecutadas por otras unidades de manera más satisfactoria? Además, es importante considerar la perspectiva del

cliente al evaluar el proceso. En definitiva, satisfacer las necesidades del cliente es de suma importancia y, por tanto, se debe tener en cuenta su punto de vista.

- Para renovar el proceso, se implementan los principios que se discutieron previamente en la sección anterior para aplicar principios de reingeniería. Al incorporar estos principios, se puede lograr un rediseño exhaustivo del proceso.
- Uno de los aspectos clave del programa es buscar y dismantelar activamente cualquier noción o suposición preconcebida que pueda obstaculizar la innovación dentro de la organización. Es fundamental eliminar cualquier prejuicio, restricción y barrera que pueda estar impidiendo el progreso. Para lograr esto, es necesario recordarnos constantemente nuestros nuevos objetivos y el papel vital que desempeñan las tecnologías de la información para lograrlos.
- Una forma de mejorar las capacidades de la organización es utilizar creativamente nuevas tecnologías que estén disponibles para nosotros. Al explorar formas innovadoras de aplicar estas tecnologías, podemos mejorar eficazmente nuestras operaciones y lograr un mayor éxito.
- La fase de prueba del proceso rediseñado implica la realización de múltiples pruebas para identificar posibles defectos o fallas. El objetivo principal de esta fase es validar la eficiencia y eficacia del proceso recientemente rediseñado.
- La revisión del nuevo proceso la lleva a cabo el líder de la unidad, quien tal vez no haya estado directamente involucrado en el proceso de reingeniería. El objetivo principal de esta revisión es identificar posibles errores o fallas en el nuevo proceso y ofrecer información valiosa, sugerencias y recomendaciones para mejorar.

Existen varias técnicas que los autores consideran cruciales para asegurar el éxito de un programa de reingeniería. Estas técnicas incluyen la visualización de procesos, la utilización de Investigación Operativa, la integración de Tecnologías de la Información, la implementación de estrategias de gestión del Cambio, la adopción de prácticas de Benchmarking, la aplicación de principios de Ingeniería Industrial y la priorización del enfoque al cliente.

Se estima que la tasa de éxito de los programas de reingeniería está entre el 50 y el 70%, lo que indica que un número significativo de estos programas no logran los objetivos previstos. Para garantizar una implementación exitosa, es fundamental evitar errores comunes que a menudo resultan en fracaso. Por ejemplo, adoptar un enfoque de abajo hacia arriba para la reingeniería es un error común, ya que el proceso debería comenzar con un fuerte compromiso y liderazgo por parte de la alta dirección dentro de la organización. Además, es importante no subestimar los recursos necesarios para la implementación ni abandonar prematuramente el esfuerzo. Se debe prestar especial atención al elemento humano dentro de la organización, ya que descuidarlo

también puede conducir al fracaso. Por último, centrarse únicamente en la reducción de costos y descuidar otros aspectos de la creación de valor también puede ser perjudicial para el éxito del programa de reingeniería.

Uno de los errores más importantes que se pueden cometer es considerar la reingeniería como una estrategia independiente. Es importante comprender que la reingeniería no es una estrategia en sí misma, sino que depende de una estrategia bien definida para guiar su implementación de manera efectiva. Sin una comprensión clara del producto o resultado final deseado, resulta difícil determinar los pasos apropiados a seguir durante el proceso de reingeniería. Por el contrario, la estrategia en sí debe estar respaldada por esfuerzos de reingeniería, ya que puede contribuir a mejorar la rentabilidad y el éxito general de la empresa. Sin embargo, es esencial reconocer que la reingeniería se ocupa principalmente del "cómo" realizar tareas y procesos, más que de determinar las tareas y procesos específicos que deben emprenderse. Este aspecto de la toma de decisiones cae dentro del ámbito del desarrollo de estrategias. Como destaca Mateos (2001), la reingeniería y la estrategia deben verse como elementos complementarios, cada uno con sus distintos roles y responsabilidades dentro del marco organizacional general.

Por lo tanto, es crucial subrayar el impacto significativo de las tecnologías de la información emergentes para facilitar la reingeniería de procesos. Numerosos académicos han reconocido que los avances en las tecnologías de la información y las comunicaciones han desempeñado un papel fundamental a la hora de permitir los esfuerzos de reingeniería. En los últimos años, estas tecnologías han logrado avances notables, revolucionando la forma en que operan las empresas y transformando estructuras rígidas convencionales en estructuras adaptables y flexibles que pueden responder eficazmente a los entornos contemporáneos a través de enfoques innovadores.

La orientación al cliente es un objetivo clave de la gestión de procesos, y el concepto de cliente abarca tanto a los clientes internos como a los externos. La relación entre proveedores internos y clientes es crucial para mejorar la eficiencia y eficacia de la organización. Las representaciones gráficas, como los diagramas de flujo, se utilizan comúnmente para comunicar, ejecutar y analizar procesos. Sin embargo, Qualigramme es una herramienta de representación gráfica más nueva que ofrece varias ventajas sobre otros métodos. Utiliza una estructura piramidal con tres niveles de modelado: procesos de la empresa, procedimientos organizacionales e instrucciones de trabajo.

Cada nivel representa diferentes aspectos del enfoque de la organización y proporciona una representación integral de los procesos. Un proceso es una serie de actividades que están diseñadas para producir un resultado específico para los clientes, basado en ciertos insumos que agregan valor. Dentro de un proceso, hay tres elementos principales: un insumo proporcionado por un proveedor, el proceso en sí, que involucra diversas actividades y recursos, y un resultado que se entrega a un cliente. Estos procesos están interconectados dentro de una organización, y el

resultado de un proceso se convierte en el insumo del siguiente. La gestión eficaz de estos procesos se conoce como gestión de procesos.

La gestión de procesos también implica la implementación de un sistema de control para medir y evaluar los resultados y las operaciones del proceso, así como la satisfacción del cliente. Las auditorías internas y las autoevaluaciones son herramientas que se pueden utilizar para medir los procesos dentro de una empresa. La mejora continua y el desarrollo de procesos se pueden lograr mediante métodos como el ciclo PDCA y la reingeniería de procesos. El ciclo PDCA es un proceso de cuatro pasos que incluye planificación, ejecución, verificación y actuación, y es particularmente útil para la mejora de la calidad en cualquier proceso dentro de la organización. Para gestionar eficazmente los procesos, es importante identificar y definir todos los procesos dentro de la organización.

Estos procesos deben tener ciertas características, como poder representarse gráficamente, medirse, controlarse y tener un responsable designado. Los procesos se pueden clasificar en diferentes tipos, incluidos procesos clave, estratégicos y de soporte. Los procesos clave están directamente relacionados con las actividades principales de la empresa, mientras que los procesos estratégicos se centran en desarrollar estrategias y establecer objetivos. Los procesos de soporte proporcionan los recursos necesarios para que se lleven a cabo los procesos clave.

Actualmente se defiende la reingeniería de procesos como un método para mejorar la eficiencia y eficacia de diversos procesos organizacionales. Este enfoque implica una revisión y transformación completa de estos procesos, incorporando cambios innovadores que conduzcan a mejoras sustanciales en los estándares de calidad. Además, implica la eliminación de cualquier proceso redundante que no aporte valor a las operaciones generales de la empresa. Esto contrasta marcadamente con la práctica convencional de simplemente reestructurar procesos, como se ve en las metodologías tradicionales.

Capítulo 3

Productividad

Definición y medición de la productividad

La terminología "eficiente", "ineficiente" y "alta eficiencia" se utilizan comúnmente en nuestro lenguaje cotidiano para describir diversas situaciones. A menudo escuchamos frases como "necesitamos mejorar la eficiencia de nuestra empresa", "la industria A es más eficiente que la industria B" y "necesitamos alcanzar un alto nivel de eficiencia de producción". Estas frases se utilizan con tanta frecuencia que parece fácil entender lo que significa "eficiencia". Sin embargo, en realidad, el concepto teórico de eficiencia a menudo se malinterpreta y la medición de la eficiencia, que puede ser una herramienta valiosa en muchos campos y profesiones, a veces se utiliza incorrectamente, lo que lleva a la creación de indicadores artificiales.

En términos simples, la eficiencia puede definirse como la relación entre ingresos y gastos, insumos y productos, o recursos y productos. Esta relación se expresa como una proporción, con la producción dividida por la entrada, y se puede representar matemáticamente como $F = E/I$, donde F representa la eficiencia, I representa la salida especificada y E representa la entrada especificada (Parra Rodríguez, s.f.).

Numerosos estudios sobre eficiencia en la economía se han basado en el cálculo de ratios como Tm de producto por trabajador. Si bien, esto proporciona información sobre el desempeño laboral, no considera otros factores cruciales como la maquinaria, la energía y el capital invertido. En 1957, Farrell introdujo un método para medir la eficiencia que tiene en cuenta múltiples factores de producción simultáneamente. El enfoque de Farrell divide la eficiencia de una empresa en dos componentes: eficiencia técnica, que mide la capacidad de lograr el máximo rendimiento con un nivel determinado de insumos, y eficiencia asignativa, que evalúa la capacidad de utilizar insumos en una proporción óptima considerando los precios de los insumos. Cuando se combinan, estos dos conceptos forman la base de la eficiencia económica (Parra Rodríguez, s.f.).

Hay dos enfoques principales para estimar la eficiencia:

- El primer enfoque son los métodos paramétricos, que implican el uso de técnicas econométricas para estimar una frontera estocástica.
- El segundo enfoque son los métodos no paramétricos, específicamente el uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA), que se basa en resolver el modelo mediante programación lineal.

El modelo econométrico inicial de frontera, conocido como frontera determinista, suponía que la eficiencia estaba determinada por una variable aleatoria que no podía ser negativa. Sin

embargo, posteriormente, se propuso la función de frontera de producción estocástica. Este nuevo modelo se diferenciaba del anterior en cuanto a la estructura de los términos de error. El término de error ahora constaba de dos componentes: una variable aleatoria no negativa que representaba la ineficiencia técnica en la producción, y un error aleatorio simétrico que daba cuenta de factores externos fuera del control de la empresa, como errores de medición en las variables, omisión de importantes variables del modelo, variaciones en el tiempo, eventos fortuitos, etc.

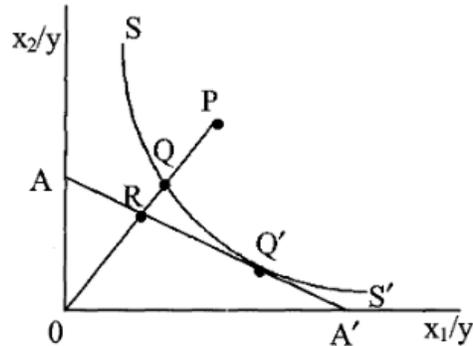
Uno de los principales beneficios de la DEA es su alto nivel de flexibilidad. Esta flexibilidad es evidente en el hecho de que no impone condiciones excesivamente restrictivas a la tecnología de referencia, que es la forma de la función de producción. Además, DEA es capaz de adaptarse a contextos multiproducto e incluso situaciones donde los precios no están disponibles, manteniendo una relativa simplicidad en su enfoque. Otro aspecto ventajoso de DEA es su capacidad de considerar simultáneamente todas las entradas en relación con las salidas. Esta característica permite la identificación de entradas que están siendo subutilizadas, proporcionando información valiosa para la optimización.

Input: las medidas

Farrell proporcionó un claro ejemplo para ilustrar sus ideas. En este ejemplo, las empresas utilizan dos insumos (x_1 y x_2) para producir un producto (y), suponiendo que hay rendimientos constantes a escala. Para medir la eficiencia técnica es necesario tener conocimiento de la unidad isocuántica, que representa una empresa o economía completamente eficiente. Esta unidad isocuántica se representa como SS' en el Gráfico 1. Al examinar las cantidades de insumos utilizadas por una empresa en el punto P para producir una unidad de producción, se puede determinar el nivel de ineficiencia técnica. Esta ineficiencia está representada por la distancia QP, que significa la cantidad en la que todos los insumos podrían reducirse proporcionalmente sin afectar la producción. Normalmente, esta reducción se expresa como un porcentaje utilizando la relación QP/OP, que representa el porcentaje en el que se podrían reducir todos los insumos.

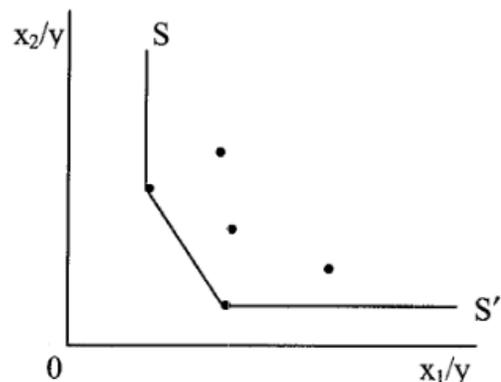
La eficiencia técnica (TE) generalmente se mide mediante la siguiente relación: La ecuación establece que el TEI (Índice de Eficiencia Total) es igual al cociente de OQ (Cantidad de Salida) dividido por OP (Cantidad de Entrada). En otras palabras, el TEI se puede calcular comparando la cantidad de producción producida con la cantidad de insumos utilizados. Esta ecuación se usa comúnmente en diversas industrias y sectores para medir y evaluar la eficiencia y productividad general de un sistema o proceso. Al comprender y analizar el TEI, las organizaciones pueden identificar áreas de mejora e implementar estrategias para mejorar su desempeño y eficacia. Además, la ecuación TEI sirve como una herramienta valiosa para la toma de decisiones, ya que proporciona una medida cuantitativa que puede usarse para comparar diferentes sistemas, procesos o proyectos. En general, la ecuación TEI ofrece una forma integral y objetiva de evaluar y optimizar la eficiencia, lo que en última instancia conduce a mejores resultados y éxito.

Esto se puede expresar como 1 menos el cociente de QP dividido por OP, multiplicado por 3. Esta medida evaluará el nivel de ineficiencia técnica de una unidad, en un rango de 0 a 1. Un valor de 1 representa una empresa que es totalmente eficiente técnicamente. Por ejemplo, el punto Q demuestra eficiencia técnica ya que cae sobre el isocuenta eficiente.



Si tenemos información sobre la fluctuación en el precio del insumo, que se muestra en la línea AA' del gráfico, podemos determinar la eficiencia asignativa. La eficiencia asignativa (AE) de la empresa que opera en el punto P se define como el ratio: $AEI = OR/OQ$. Esto significa que la distancia RQ representa la disminución en los costos de producción que se produciría si la empresa asignara eficientemente sus recursos. En otras palabras, el punto Q' sería tanto técnica como asignativamente eficiente, y la relación RQ/OQ indicaría la proporción de reducción de costos al pasar del punto Q a Q'.

El concepto de eficiencia económica total se puede medir utilizando la fórmula $EET = OR/OP$, donde OR representa el ratio de producción y OP representa el ratio de insumos. La distancia RP puede entenderse como una medida de cuánto se pueden reducir los costos. Es importante mencionar que la eficiencia económica se puede determinar multiplicando la eficiencia técnica por la eficiencia asignativa, cuyo valor oscila entre 0 y 1. Esto se puede expresar como $TEI \times AEI = (OQ/OP) \times (OR/OQ) = (OR/OP) = ISS$.

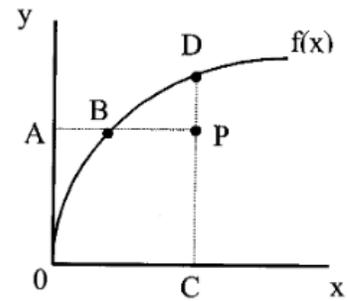


Las medidas de eficiencia se basan en el supuesto de que tenemos un conocimiento completo de la función de producción de una empresa perfectamente eficiente. Aun cuando, en la realidad, tal escenario rara vez existe y tenemos que confiar en datos de muestra para estimar la isocuenta de la empresa eficiente.

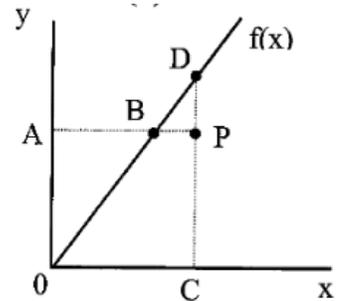
Output: medidas

La eficiencia técnica orientada a los insumos se relaciona con la cantidad de insumos que se puede disminuir proporcionalmente manteniendo el mismo nivel de producción. En otras palabras, determina hasta qué punto se pueden reducir los insumos sin afectar la cantidad de producción producida. Por otro lado, la eficiencia orientada a la producción se centra en aumentar la producción sin alterar las cantidades de insumos utilizados. Al responder a esta pregunta, obtenemos una medida de la eficiencia con la que una organización utiliza sus recursos para lograr el máximo rendimiento. Es importante señalar que existe una distinción entre medidas orientadas a los insumos y medidas orientadas a los resultados, que se pueden ejemplificar mediante un escenario sencillo que involucre una industria específica que genera un único producto utilizando un único insumo.

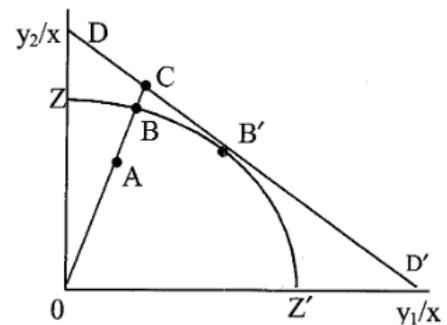
En el gráfico, hay una representación de una tecnología $f(x)$ que exhibe rendimientos decrecientes a escala. El gráfico también muestra una empresa ineficiente que opera en el punto P. Según la medida TE orientada a los insumos de Farrell, debería ser igual a la relación entre AB y AP, mientras que la medida TE orientada a la producción debería ser igual a la relación entre CP y AP. CD. Es importante señalar que las medidas orientadas a los insumos y a los productos sólo serán equivalentes cuando haya rendimientos de escala constantes. Sin embargo, si los rendimientos aumentan o disminuyen a escala, estas medidas serán diferentes. Esta información fue expuesta por Fare y Lovell en 1978.



Por otro lado, en este gráfico, se representa una tecnología con rendimientos de escala constantes. En el punto P, se puede observar que AB/AP es igual a CP/CD .



Examinado, a continuación una industria que genera dos productos diferentes, y_1 y y_2 , utilizando un único insumo, x . Suponiendo rendimientos constantes a escala, podemos representar el aspecto tecnológico de esta industria a través de una curva de posibilidades de producción en dos dimensiones. El gráfico ilustra este ejemplo, donde la línea ZZ' representa la curva de posibilidades de producción unitaria y el punto A



significa la producción de una unidad ineficiente. Es importante señalar que el punto A se sitúa por debajo de la curva ZZ' , ya que esta última representa el rango máximo de producción potencial.

Las medidas de eficiencia orientadas a la producción de Farrell se pueden describir de la siguiente manera. En el contexto del gráfico anterior, donde la distancia AB sirve como indicador de ineficiencia técnica. Esta distancia representa el aumento potencial de los resultados que se pueden lograr sin necesidad de insumos adicionales. Esencialmente, cuantifica en qué medida se pueden maximizar los productos sin necesidad de utilizar recursos adicionales. De hecho, se puede emplear un ratio como medida orientada a la producción para medir el nivel de eficiencia técnica.

El valor de TEo equivale a la relación de OA dividida por OB

Considerando los datos de precios, podemos construir la línea de ingreso isocuántica DD' , que nos permite determinar la eficiencia asignativa. La eficiencia asignativa se refiere a la asignación óptima de recursos de tal manera que se logre la máxima producción posible, dados los insumos disponibles y los precios predominantes. En términos más simples, es la capacidad de asignar recursos de una manera que maximice la productividad y minimice el desperdicio, teniendo en cuenta los precios relativos de bienes y servicios. Al analizar y trazar la línea de ingreso isocuántica DD' , podemos evaluar qué tan bien se están asignando los recursos y si es necesario hacer ajustes para mejorar la eficiencia. Este método proporciona una comprensión integral de cómo la información de precios influye en la asignación de recursos y, posteriormente, impacta la productividad general y el desempeño económico.

AEO es igual a OB dividido por OC

El concepto de aumento del ingreso puede entenderse de manera similar a cómo se interpreta la reducción de costos en el contexto de la eficiencia asignativa en la medición orientada a los insumos. Del mismo modo, la eficiencia económica total se puede definir multiplicando estas dos medidas.

EEO es igual a la relación de OA a OC, que se puede expresar como el producto de las relaciones OA a OB y OB a OC. Esto también se puede escribir como el producto de TEo y AEO . Es importante comprender que todas estas medidas se encuentran dentro del rango de 0 a 1.

La estimación de la eficiencia: datos panel

La técnica de datos panel

Un modelo de datos de panel es un tipo de modelo que utiliza datos recopilados de individuos en diferentes momentos. Este tipo de modelo incorpora tanto el aspecto temporal (tiempo) como el aspecto estructural (individuos) de los datos, lo que lo convierte en una poderosa herramienta de análisis. Los modelos de datos de panel se utilizan comúnmente en estudios económicos y se pueden aplicar a varios tipos de conjuntos de datos, como paneles de hogares,

encuestas de opinión empresarial o mediciones de audiencia televisiva. Los conjuntos de datos suelen consistir en una gran cantidad de individuos con observaciones limitadas a lo largo del tiempo o una gran cantidad de períodos de tiempo con una pequeña cantidad de individuos.

Es importante distinguir los datos de panel de las encuestas transversales, que se repiten en el tiempo pero no se centran en los mismos individuos. El principal objetivo del estudio de datos de panel es capturar las diferencias o heterogeneidades no observables entre agentes económicos (individuos, empresas, bancos) y a lo largo de períodos de tiempo. Esta heterogeneidad no puede entenderse completamente mediante estudios de series temporales o estudios transversales únicamente.

Por tanto, incorporar la dimensión temporal en los estudios transversales permite un análisis más dinámico de los datos. Este enfoque es particularmente valioso en estudios empresariales, ya que permite examinar los efectos individuales específicos de cada empresa y los efectos temporales del entorno. Los efectos individuales específicos se refieren a factores que impactan de manera diferencial a las unidades de la muestra, como la capacidad comercial, la eficiencia operativa, el acceso a la tecnología y la experiencia.

Se supone que estos efectos desempeñan un papel directo en los procesos de toma de decisiones de estas unidades. Por otro lado, los efectos temporales son factores que afectan a todas las unidades por igual pero varían en el tiempo. Pueden atribuirse a shocks macroeconómicos (por ejemplo, cambios en las tasas de interés, precios de la energía, inflación) o alteraciones en las regulaciones del mercado (por ejemplo, expansión de la UE, reducciones de las tasas arancelarias, cambios en los impuestos).

Especificaciones

La especificación general de un modelo de regresión con datos de panel involucra múltiples dimensiones: el individuo o unidad de estudio (sección transversal) y el tiempo. La variable por explicar, denotada como Y_{it} , está asociada a cada unidad de estudio. El escalar α representa una colección de N parámetros que capturan los efectos específicos del i -ésimo individuo, mientras que el vector β consta de K parámetros que están vinculados a las j -ésimas variables explicativas, denotadas como X .

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \sum_{j=1}^K X_{it}^j \beta^j + u_{it}$$

En un modelo de datos de panel, las variables explicativas pueden clasificarse en tres categorías o tipos distintos:

- Cada unidad transversal tiene su propia variable que no incluye información temporal. Estas variables permanecen consistentes entre todos los individuos y pertenecen a atributos específicos del individuo o agente, como el tipo, tamaño y estructura gerencial de la

empresa. Otras variables pueden incluir el género del trabajador, el nivel de educación, la profesión y diversas características sociales.

- En este escenario, cada período de tiempo está asociado con una variable distinta, pero estas variables no cambian de valor entre los individuos. Más bien, asumen valores diferentes con el tiempo. Ejemplos de tales variables incluyen la tasa de inflación y la tasa de interés.
- Una variable que está sujeta a cambios tanto entre diferentes individuos en un momento específico como durante un período de tiempo se conoce como variable dinámica. Ejemplos de tales variables incluyen el ingreso general, el nivel de rentabilidad, el monto de la inversión de capital y los niveles de deuda. Estas variables no sólo varían entre los individuos en un momento dado sino que también sufren fluctuaciones y modificaciones a lo largo del tiempo.

Los modelos de datos de panel se comprenden y analizan examinando sus componentes de error. Esto se puede hacer utilizando la notación matricial abreviada de un modelo de datos de panel típico:

$$Y_{it} = X_{it}'\beta + u_{it} \quad (1)$$

El término de error, representado por la u_{it} en la ecuación (1), se puede descomponer así:

$$u_{it} = \mu_i + \lambda_t + e_{it} \quad (2)$$

el símbolo μ_i se utiliza para representar los factores no observables que distinguen una unidad de estudio de otra, como su capacidad empresarial y eficiencia. Por otro lado, el símbolo λ_t se utiliza para identificar los efectos no mensurables que cambian con el tiempo pero que permanecen constantes en las unidades de estudio. Por último, el símbolo e_{it} se refiere al componente puramente aleatorio del error.

La mayoría de los análisis realizados sobre datos de panel utilizan el modelo de componentes de error, conocido como ruta para la cual $\lambda_t = 0$ (Modelo A). Las diferentes variantes para el modelo unidireccional de los componentes del error resultan de los diferentes supuestos sobre el término μ_i , y se pueden presentar tres posibilidades:

- El escenario más básico por considerar es cuando no existe una heterogeneidad no observable entre individuos o empresas, lo que puede representarse mediante la ecuación $0 = \mu_i$.

- La segunda opción implica considerar un impacto distinto e invariable para cada individuo o empresa, denotado como $i \mu$. En este escenario, la variabilidad oculta se incluye en la constante del modelo, representada como $i \alpha$.
- Por último, la tercera opción implica considerar $i \mu$ como un factor oculto e impredecible que fluctúa entre individuos o empresas, manteniéndose constante a lo largo del tiempo.

Según la especificación inicial, μ_{it} cumple todos los supuestos necesarios del modelo lineal general. En consecuencia, se emplea como método de estimación MCO, que permite la adquisición de estimadores lineales e insesgados. Además, este enfoque ofrece el beneficio adicional de grados de libertad crecientes.

En situaciones donde el supuesto de homogeneidad no se mantiene en un sistema de datos de panel, lo que significa que hay una variación no observable ya sea a lo largo del tiempo, entre unidades de estudio (individuos) o ambos, se hace necesario encontrar una especificación adecuada que incorpore adecuadamente esta heterogeneidad. Esto es importante para garantizar que los estimadores de los parámetros de las variables explicativas no sufran sesgos.

Las ventajas y desventajas

Los modelos de datos de panel ofrecen varias ventajas y también tienen desventajas en comparación con las series temporales y los modelos transversales. A continuación, comentaremos los más significativos.

Las ventajas:

- La utilización de esta técnica permite al investigador económico ampliar su conjunto de datos, lo que da como resultado un conjunto más grande de observaciones. Este aumento en el número de observaciones mejora los grados de libertad, disminuyendo así la presencia de multicolinealidad entre las variables explicativas. En consecuencia, estas mejoras conducen en última instancia a una mayor eficiencia en la estimación de valores econométricos.
- Como se indicó anteriormente, la técnica de datos de panel proporciona un medio para capturar diferencias o variaciones no observables que pueden existir entre unidades de estudio individuales o durante un período de tiempo. Partiendo de este concepto, la utilización de datos de panel permite a los investigadores emplear una variedad de comparaciones para validar o descartar la presencia de dicha heterogeneidad y determinar los métodos más efectivos para capturarla.
- El análisis de datos de panel tiene en cuenta la heterogeneidad entre individuos o agentes económicos, como consumidores, empresas, regiones y países. Este reconocimiento de la heterogeneidad es crucial ya que permite un análisis más completo y preciso. Por el

contrario, las series temporales y los análisis transversales pasan por alto esta heterogeneidad, lo que puede dar lugar a resultados sesgados y poco fiables. Por lo tanto, el análisis de datos de panel proporciona un enfoque más sólido y completo para comprender e interpretar los datos.

- La inclusión de estos procesos de ajuste permite un estudio más completo de la dinámica, ya que permiten analizar los cambios en las distribuciones transversales a lo largo del tiempo.
- Una ventaja de utilizar estos modelos es que brindan la oportunidad de construir y evaluar patrones complejos de comportamiento, lo que no es fácil de lograr mediante series temporales y análisis transversales. Un excelente ejemplo de tal modelo es el que apunta a evaluar el grado de eficiencia técnica exhibida por cada unidad económica a nivel individual.
- En esencia, la utilización de unidades transversales en un panel de datos, que generalmente denotan individuos, familias o empresas, elimina efectivamente cualquier sesgo que pueda surgir al tratar con variables agregadas.

Las desventajas:

- La técnica de datos de panel suele estar sujeta a diversas limitaciones y desafíos cuando se trata de obtener y procesar información estadística sobre unidades de estudio individuales. Estas limitaciones pueden surgir de los métodos utilizados para recopilar datos, como encuestas, entrevistas u otras formas de inferencia estadística. Algunos ejemplos de estas limitaciones incluyen la posibilidad de una selección no aleatoria de la muestra, tasas de cobertura poblacional inadecuadas en la recopilación de datos, altos porcentajes de falta de respuesta, preguntas de encuesta ambiguas o confusas y la posibilidad de distorsión deliberada de las respuestas. Estas desventajas resaltan los posibles obstáculos y complejidades asociados con la utilización de datos de panel en la investigación y el análisis.
- Además, la existencia de una dimensión temporal restringida tiene el potencial de invalidar ciertos aspectos teóricos de los modelos de datos de panel.
- También, a través de investigaciones extensas se ha observado que al estimar una ecuación utilizando una muestra que comprende numerosas unidades transversales pero períodos de tiempo limitados (como 700 individuos en un lapso de 5 períodos), la utilización de modelos de efectos fijos produce resultados marcadamente distintos. en comparación con modelos que incorporan efectos aleatorios.

Los modelos de efectos fijos

Como se indicó anteriormente, los modelos de datos de panel nos brindan la capacidad de considerar la presencia de efectos individuales que son únicos para cada unidad y permanecen constantes en el tiempo. Estos efectos individuales juegan un papel crucial al influir en el proceso de toma de decisiones de cada unidad transversal.

Estos modelos operan bajo el supuesto de que el impacto de las variables que han sido omitidas, ya sean únicas para cada individuo o fluctúen en el tiempo, no son significativas por sí solas, pero llegan a ser significativas cuando se consideran en su conjunto.

Por el contrario, considerando que se cree que el impacto de las variables que se omitieron permanece constante a lo largo del tiempo para cada persona, o no difiere entre individuos en un momento particular en el tiempo, o posiblemente una combinación de ambas, estas variables pueden ser incluido en el modelo de regresión como un término constante. Este término constante es un promedio que reconoce las diferencias entre individuos y/o a lo largo del tiempo que existen dentro de los datos.

La distinción entre modelos de efectos fijos y modelos de efectos aleatorios radica en la manera en que incorporan la heterogeneidad no observada. Los modelos de efectos fijos, también denominados modelos de mínimos cuadrados con variables ficticias, difieren de los modelos de efectos aleatorios en su enfoque.

Los modelos de datos del panel de efectos fijos se pueden representar mediante la siguiente expresión general:

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^K X_{it}^j \beta^j + u_{it}$$

En esta ecuación, la variable dependiente, Y , está influenciada por varios factores. El escalar, α , representa los efectos específicos del i ésimo individuo, que permanecen constantes en el tiempo. El vector X representa las k variables explicativas, y los parámetros β recogen los efectos de estas variables. El término de error, u_{it} , se distribuye aleatoriamente con una media de cero y una varianza constante de valor 2σ . El panel de datos consta de N unidades transversales o individuos observados durante T períodos.

Así, el objetivo es abordar un sistema complejo que consta de numerosas regresiones específicas, cada una con N ecuaciones de sección transversal denotadas por:

$$Y_i = \alpha_i + X_i^1 \beta^1 + X_i^2 \beta^2 + \dots + X_i^j \beta^j + u_i \text{ y } T \text{ observaciones.}$$

La notación matricial abreviada sería:

$$Y_{it} = \alpha_i + X_{it}'\beta + u_{it}$$

Cuando agrupamos las observaciones temporales para cada unidad transversal, podemos establecer el siguiente modelo:

$$Y_{it} = i\alpha + X_{it}'\beta + e_{it}$$

suponiendo una única variable explicativa, la ecuación queda:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ Y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i & 0 & \dots & 0 \\ 0 & i & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \cdot \\ \alpha_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ X_N \end{bmatrix} \beta + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \cdot \\ e_N \end{bmatrix}$$

Este modelo supone que las variables explicativas tienen el mismo impacto en todas las unidades transversales. Sin embargo, cada unidad tiene sus propias características únicas que se miden mediante la intersección en el origen. Para tener en cuenta estas diferencias, el modelo incluye N intersecciones que están asociadas con variables ficticias. Estas variables ficticias tienen coeficientes específicos para cada unidad, que deben estimarse.

La estimación de i , α y β se realiza utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Sin embargo, es importante considerar que este modelo resulta en una reducción considerable de los grados de libertad. Para evaluar la validez del modelo, se recomienda realizar una prueba F para determinar si $\alpha = i$ para cualquier i . Además, al incorporar un término constante, cabe señalar que sólo es necesario introducir N-1 variables ficticias.

La utilización de este modelo es más extensa debido a la reducción de los grados de libertad causada por la estimación, por lo que se emplea comúnmente para describir el modelo general de efectos fijos restando la media de cada variable.

Los modelos de efectos aleatorios

A diferencia del modelo de efectos fijos, el modelo de efectos aleatorios tiene en cuenta que los efectos individuales no son independientes entre sí, sino que se distribuyen aleatoriamente alrededor de un determinado valor. Al realizar un análisis de regresión, a menudo se supone que existen numerosos factores que influyen en la variable dependiente pero que no se han incluido explícitamente como variables independientes en el modelo.

Se cree que estos factores son capturados adecuadamente por la perturbación aleatoria. Por tanto, en el modelo de efectos aleatorios se considera diferente tanto el impacto de las variables explicativas como las características de cada unidad. El modelo supone que el término α es la suma de una constante común α , una variable aleatoria específica de sección transversal e invariante en el tiempo μ asociada a cada individuo, que no está correlacionada con el residual u , y otra variable aleatoria λt asociada al tiempo, tampoco correlacionado con el residual u . En lugar de tratar a μ como una constante fija, esta especificación supone que μ sigue una distribución normal con media 0 y varianza σ^2 , independiente y distribuida equitativamente entre los individuos, y no correlacionada tanto con u como con X .

La elección del tipo de modelo

La elección entre modelos de efectos fijos y de efectos aleatorios para el análisis depende de los objetivos específicos del estudio. El modelo de efectos fijos se recomienda cuando se hacen inferencias sobre la muestra, mientras que el modelo de efectos aleatorios es más adecuado para hacer inferencias sobre la población en su conjunto. Además, si el estudio se centra principalmente en los coeficientes de las pendientes de los parámetros y no en las diferencias individuales, se debe seleccionar un método que considere estas diferencias como aleatorias y trate la heterogeneidad no observable como tal.

La elección del modelo en el análisis de datos depende en gran medida del contexto en el que se obtuvieron los datos y del entorno en el que existen. El modelo de efectos fijos incorpora heterogeneidad no observable en la intersección y del modelo, mientras que el modelo de efectos aleatorios la incorpora en el término de error, lo que a su vez modifica la varianza del modelo. Cuando se trata de una T pequeña y una N grande, el uso de un modelo de efectos fijos o aleatorios puede generar diferencias en las estimaciones de los parámetros. En tales casos, es esencial utilizar eficazmente la información disponible para estimar la relación de comportamiento que varía significativamente entre los individuos. A primera vista, el enfoque de efectos fijos parece más atractivo ya que no requiere hacer supuestos paramétricos sobre la distribución condicional de la heterogeneidad no observable. Sin embargo, tiene sus inconvenientes, ya que sólo se puede aplicar a determinadas distribuciones y requiere hacer suposiciones restrictivas sobre la distribución del término de error, similares a las requeridas por el método MCO. Es importante señalar que el modelo de efectos fijos supone la presencia de diferencias entre unidades, las cuales se reflejan a través de movimientos en la curva de regresión.

El modelo de efectos fijos, cuando se utilizan variables ficticias para la estimación, no proporciona una explicación directa de los cambios en la variación observados a lo largo del tiempo y entre los individuos. Esto también implica que hay una pérdida importante de información debido a los limitados grados de libertad. En situaciones donde la estructura de datos es importante, es necesario tener en cuenta el hecho de que si el número de individuos (N) es

grande y el número de períodos de tiempo (T) es pequeño, el modelo de efectos fijos puede tener un número grande de parámetros en relación con los datos disponibles. En consecuencia, esto puede dar como resultado parámetros que no son estadísticamente significativos y una estimación ineficiente.

La estimación de la eficiencia

Hay varias formas de medir la ineficiencia y las técnicas utilizadas dependen de las unidades económicas o de negocios específicas que se analizan. Se hace una distinción entre técnicas paramétricas, que evalúan la eficiencia especificando una relación matemática particular entre variables, y técnicas no paramétricas, que evalúan la eficiencia sin especificar dicha relación. Ejemplos de técnicas paramétricas incluyen el análisis estocástico de la frontera de producción (SFA), mientras que el análisis envolvente de datos (DEA) es una técnica no paramétrica destacada.

La aproximación paramétrica de la función estocástica es un método utilizado para estimar una función de producción de frontera. Esta función calcula la diferencia entre el nivel de salida real y el nivel de salida potencial máximo. Esta diferencia se compone de dos términos: un término de error, que da cuenta de variables que están fuera del control de la unidad productiva analizada, y un término de ineficiencia.

Los modelos de eficiencia técnica variante en el tiempo

Como se indicó anteriormente, la utilización de la técnica de datos de panel nos permite considerar la presencia de efectos individuales únicos asociados con cada empresa que permanecen consistentes en el tiempo, influyendo así en el proceso de toma de decisiones de cada unidad respectiva dentro del conjunto de datos transversales.

Una forma sencilla de dar cuenta de esta heterogeneidad (y de hecho, la forma más común) es utilizar un modelo de intercepción variable. Así, el modelo lineal es el mismo para todas las unidades o individuos estudiados, pero la ordenada en el origen es específica para cada uno de ellos. Con base en el modelo general, esta situación queda representada por la siguiente ecuación:

$$Y_{it} = (\alpha + u_i) + \beta' X_{it} + e_{it}$$

la variable u_i representa una perturbación aleatoria que nos brinda la capacidad de diferenciar y comprender el impacto de cada individuo dentro del panel. Este factor de perturbación juega un papel crucial en el análisis y evaluación de las contribuciones individuales dentro del panel, lo que nos permite obtener una comprensión más profunda de los efectos generales.

Para hacer una estimación, los componentes estocásticos se clasifican y de esta agrupación se deriva una relación:

$$Y_{it} = \alpha + \beta' X_t + U_{it}$$

aquí $U_{it} = \delta t + u_t + e_{it}$ ahora incluye un nuevo término llamado término de perturbación, que representa el efecto combinado del error asociado con la serie de tiempo (δt), la perturbación de sección transversal (u_t) y el efecto combinado de ambos (e_{it}). Es importante mencionar que la variable U no presenta homocedasticidad.

El método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) no es aplicable para estimar este tipo de modelos debido a la violación de supuestos necesarios para una estimación consistente. Por lo tanto, es más ventajoso emplear el método de mínimos cuadrados generalizados (GLS) en tales escenarios.

La elección entre utilizar efectos fijos o efectos aleatorios en el análisis depende de los objetivos específicos del estudio. Si el objetivo es sacar conclusiones sobre la población general, como cuando se trabaja con una muestra seleccionada al azar, se recomienda utilizar un modelo de efectos aleatorios. Por otro lado, si la atención se centra en una muestra particular que ha sido convenientemente seleccionada o si el análisis se realiza en toda la población, entonces la estimación de efectos fijos sería apropiada.

Además, si el estudio se centra principalmente en los valores asignados a las pendientes de los parámetros más que en las características únicas de cada individuo, es importante seleccionar un método que minimice el impacto de estas diferencias y trate la heterogeneidad no observable como un problema. factor aleatorio. El modelo de efectos fijos supone que el investigador saca conclusiones basadas en los efectos observados dentro de la muestra. Por otro lado, el modelo de efectos aleatorios permite al investigador sacar conclusiones ya sea de forma condicional o marginal, teniendo en cuenta toda la población objeto de estudio.

La elección del modelo al analizar datos depende del contexto en el que se recopilaron los datos y del entorno en el que se originan. El modelo de efectos fijos incorpora diferencias no observables entre individuos en el intercepto del modelo, mientras que el modelo de efectos aleatorios incorpora estas diferencias en el término de error, afectando la varianza del modelo. Cuando se trata de un número pequeño de períodos de tiempo (T) y un número grande de individuos (N), el uso de un modelo de efectos fijos o aleatorios puede llevar a estimaciones de parámetros diferentes. En tales casos, es importante utilizar eficazmente la información disponible para estimar la relación de comportamiento que varía significativamente de un individuo a otro. Sin embargo, el modelo de efectos fijos tiene limitaciones ya que no identifica directamente la causa de la variación a lo largo del tiempo y entre individuos, y también resulta en una pérdida de grados de libertad.

Si bien, es importante tener en cuenta la estructura de los datos en este escenario. Si N (el número de observaciones) es grande y T (el número de períodos de tiempo) es pequeño, existe la posibilidad de que el modelo de efectos fijos tenga un número excesivo de parámetros en comparación con la cantidad limitada de datos disponibles. Como resultado, esto podría conducir a parámetros que no son estadísticamente significativos y a una estimación ineficiente.

La estimación de la eficiencia y productividad con métodos no paramétricos

El análisis envolvente de datos

El análisis envolvente de datos (DEA) es una técnica de programación matemática que no se basa en suposiciones específicas sobre la forma funcional del proceso de producción. Su principal objetivo es estimar la frontera de producción eficiente comparando el desempeño de diferentes unidades organizativas. El enfoque DEA, que fue introducido por primera vez por Charnes, Cooper y Rhodes en 1978, ha ganado una atención significativa en el campo del análisis de eficiencia. Se ha aplicado ampliamente en diversas industrias y sectores para evaluar los niveles de eficiencia de las unidades organizativas. Cooper (1999) ha explorado ampliamente las aplicaciones potenciales de la DEA en diferentes campos, demostrando aún más su versatilidad y utilidad (Parra Rodríguez, s.f.).

El objetivo es encontrar un valor único que represente la menor reducción posible en el consumo de insumos sin disminuir la cantidad de producción producida. Para determinar la eficiencia relativa de varias unidades, calculamos ratios que miden la relación entre insumos y productos:

$$\text{Eficiencia de la unidad } i - \text{ésima} = \frac{\text{Output de la unidad } i - \text{ésima}}{\text{Input de la unidad } i - \text{ésima}}$$

No obstante, calcular este tipo de ratios como indicadores de eficiencia relativa no es suficiente cuando las unidades organizativas, por ejemplo, utilizan varios insumos para obtener varios productos simultáneamente. En principio, esta dificultad se puede evitar generalizando la expresión anterior de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia de la unidad } i - \text{ésima} = \frac{\text{Suma de los outputs de la unidad } i - \text{ésima}}{\text{Suma de los inputs de la unidad } i - \text{ésima}}$$

El problema con la medida de eficiencia mencionada en la declaración anterior es que los productos y los insumos no tienen dimensiones consistentes. Para abordar este problema, se propone una solución incorporando un conjunto de pesos adecuados que estandaricen tanto el numerador como el denominador en la ecuación final:

$$\text{Eficiencia de la unidad } i - \text{ésima} = \frac{\text{Suma ponderada de outputs de la unidad } i - \text{ésima}}{\text{Suma ponderada de los inputs de la unidad } i - \text{ésima}}$$

En este campo particular, cuando nos referimos a la notación estándar, vale la pena señalar que cuando hay m salidas y n entradas, se pueden hacer ciertas observaciones:

$$E_j = \frac{U_1 Y_{1j} + U_2 Y_{2j} + \dots + U_i Y_{ij} + \dots + U_m Y_{mj}}{V_1 Y_{1j} + V_2 Y_{2j} + \dots + V_i Y_{ij} + \dots + V_n Y_{nj}}$$

En donde:

- E_j representa el nivel de eficacia de la j -ésima unidad organizativa.
- U_i significa la importancia o valor asignado al i -ésimo resultado general.
- V_i representa el significado o valor asignado al i -ésimo insumo general.
- Y_{ij} denota la cantidad o importe de la i -ésima producción general presente en la j -ésima unidad organizativa.
- X_{ij} indica el número o cantidad del i -ésimo insumo general presente en la j -ésima.

La definición de eficiencia relativa plantea la cuestión de encontrar los conjuntos de ponderaciones apropiados, U_i y V_i , que permitan la normalización tanto de los insumos como de los productos. Una pregunta que surge es si las ponderaciones asignadas a diferentes unidades organizativas deberían ser uniformes. Los primeros investigadores en esta área, como Farrell (1957) y Farrell y Fieldhouse (1962), intentaron resolver este problema proponiendo un conjunto único de ponderaciones que se aplicaría a todas las unidades organizativas. Sin embargo, Charnes et al (1978) sostienen que cada unidad organizacional puede tener su propia valoración única de productos e insumos (Parra Rodríguez, s.f.).

El método de determinación de las mejores combinaciones de ponderaciones para los productos e insumos de cada unidad organizacional constituye el núcleo analítico del análisis de la metodología DEA. De esta forma, la eficiencia de la unidad se obtendrá maximizando el cociente que mide la eficiencia de dicha unidad, supeditando el proceso de mejora a si la eficiencia de todas las unidades organizativas, incluida la propia unidad, es menor o similar a la eficiencia de la unidad organizativa. . soledad. Analíticamente se formuló un modelo de programación matemática cuyas variables representan los pesos más adecuados para la unidad organizacional. La estructura algebraica del modelo, propuesta por Charnes et al. (1978), para la unidad J es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Max } E_j &= \frac{\sum_{i=1}^m U_i Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n V_i X_{ij}} \\ \text{s.a.} \\ \frac{\sum_{i=1}^m U_i Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n V_i X_{ij}} &\leq 1, \forall j \\ U_i, V_i &\geq 0, \end{aligned}$$

En el modelo anterior, la solución no sólo proporciona una medida de la eficiencia relativa de la j-ésima unidad organizativa en comparación con el resto, sino que también identifica los pesos óptimos que han contribuido a esta eficiencia. Si $E_j = 1$ en el óptimo, indica que la j-ésima unidad es relativamente eficiente en comparación con las otras k-1 unidades. Por otro lado, si $E_j < 1$, significa que a pesar de elegir ponderaciones favorables, hay otras unidades organizativas en la muestra que combinan insumos en productos de una manera más eficiente. Para empezar, profundizaremos en el modelo CRS orientado a entradas, que fue el modelo inicial ampliamente implementado.

Modelo de rendimientos constantes a escala (CRS): orientación a Inputs

Consideremos un escenario en el que tenemos N empresas, también conocidas como DMU, cada una de las cuales posee K entradas y M salidas. Cada DMU individual se identifica mediante los vectores x_i para entradas e y_i para salidas. Los datos para todas las N DMU están representados por la matriz de entrada X (con dimensiones $K \times N$) y la matriz de salida Y (con dimensiones $M \times N$).

El principal objetivo de la técnica del Análisis Envolvente de Datos (DEA) es crear una frontera no paramétrica, que es una línea límite que abarca un conjunto de puntos de referencia. Esta frontera está construida de tal manera que todos los puntos de datos observados están en la frontera o debajo de ella. Para comprender mejor este concepto, consideremos un escenario simplificado en una industria donde se utilizan dos insumos para producir un producto. En este caso, el enfoque DEA visualiza la construcción de múltiples planos que se cruzan entre sí, formando una estructura similar a una envoltura sobre una colección de puntos dispersos en un espacio tridimensional.

Es importante tener en cuenta que esta visualización asume el supuesto de rendimientos constantes a escala (CRS), lo que significa que la producción se puede ampliar o reducir proporcionalmente cambiando las cantidades de insumos utilizados. Alternativamente, esta unidad isocuántica también se puede representar en un gráfico donde las entradas se comparan entre sí.

La eficiencia de cada DMU se obtiene midiendo la relación entre todas las salidas y todas las entradas $u'y_i/v'x_i$, donde u es un vector dimensional $M \times 1$ de pesos de salida y v es un vector $K \times 1$ de pesos de entrada. Para seleccionar los pesos óptimos, especificamos el siguiente problema de programación matemática:

$$\begin{aligned} & \max_{u,v} (u'y_i/v'x_i), \\ & \text{st} \quad u'y_j/v'x_j \leq 1, \quad j=1,2,\dots,N, \\ & \quad u, v \geq 0. \end{aligned}$$

El objetivo de esta tarea es determinar los valores óptimos para u y v para maximizar la medida de eficiencia de la i -ésima DMU, asegurando al mismo tiempo que todas las medidas de eficiencia permanezcan por debajo o iguales a uno. Sin embargo, un inconveniente de esta formulación es que presenta un número infinito de soluciones posibles. Para superar este problema, se introduce la restricción $v'x_i = 1$, lo que ayuda a solucionar el problema:

$$\begin{aligned} & \max_{\mu,v} (\mu'y_i), \\ & \text{st} \quad v'x_i = 1, \\ & \quad \mu'y_j - v'x_j \leq 0, \quad j=1,2,\dots,N, \\ & \quad \mu, v \geq 0, \end{aligned}$$

El cambio de notación de u y v a μ y v es un reflejo de la transformación que tiene lugar. Esta forma particular del problema se conoce comúnmente como forma multiplicadora en el contexto de la programación lineal.

Utilizando el concepto de dualidad en programación lineal, se puede lograr un enfoque alternativo para representar el problema antes mencionado:

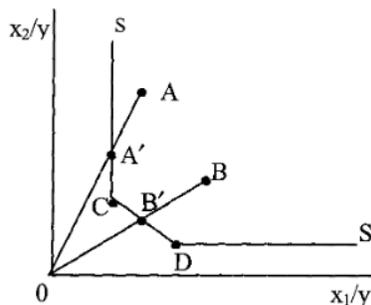
$$\begin{aligned} & \min_{\theta,\lambda} \theta, \\ & \text{st} \quad -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \quad \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \quad \lambda \geq 0, \end{aligned}$$

En este problema, θ representa un valor o cantidad único, mientras que λ es un vector que consta de N elementos, cada uno de los cuales representa un valor constante. Este método de plantear el problema tiene menos limitaciones en comparación con la forma multiplicadora, que

requiere que la suma de K y M sea menor que $N+1$. Debido a su aplicabilidad más amplia, comúnmente se prefiere esta formulación.

La eficiencia de la i -ésima DMU se puede determinar calculando el valor de θ , que oscila entre 0 y 1. Si la DMU está ubicada en el límite de referencia, el valor de θ será 1, lo que indica que es técnicamente eficiente. Es importante tener en cuenta que el problema de programación lineal debe resolverse N veces, y cada iteración proporciona un valor θ único para cada DMU de la muestra.

El límite no paramétrico DEA, que se compone de segmentos de línea, puede plantear desafíos a la hora de medir la eficiencia. Este problema surge porque hay secciones del límite que corren paralelas a los ejes, a diferencia de la mayoría de las funciones paramétricas. Para demostrar este problema, en el siguiente gráfico, hay dos DMU eficientes (aquellas que logran el máximo rendimiento con los insumos dados) representadas por las combinaciones de insumos C y D , que definen la frontera. Por otro lado, las DMU A y B se consideran ineficientes ya que no logran el máximo rendimiento con sus respectivos insumos.



En el estudio de Farrell (1957), la eficiencia técnica de A y B está determinada por las relaciones OA'/OA y OB'/OB , respectivamente. Si bien, existe incertidumbre en torno a la eficiencia del punto A' , ya que es posible disminuir la entrada x_2 (en la cantidad CA') y aun así lograr la misma salida. Este fenómeno se conoce como holgura de entrada en la literatura. De manera similar, el concepto de brechas de producción se define de manera similar.

Por lo tanto, se puede sostener que para obtener una evaluación precisa de la eficiencia técnica de una DMU en el análisis DEA, es imperativo calcular la medida de Farrell de eficiencia técnica (θ) junto con cualquier holgura distinta de cero presente en la entrada o salida. Al tener en cuenta estos factores, se puede obtener una medida más completa y confiable de la eficiencia técnica de la DMU.

Cabe señalar que las holguras de salida para la i -ésima DMU solo serán cero si la diferencia entre el valor de salida óptimo $Y\lambda$ y el valor de salida real y_i es cero. De manera similar, las holguras de entrada serán cero si la diferencia entre el valor de entrada óptimo θx_i y el valor de entrada real $X\lambda$ es cero, considerando los valores óptimos dados de θ y λ .

En el anterior gráfico, la holgura de insumos x_2 vinculada al punto A' está determinada por la distancia desde el punto C. Cuando se trata de más insumos y productos, determinar el punto más eficiente en la frontera, como el punto C, se convierte en una tarea compleja, lo que hace que el cálculo de la holgura es un desafío.

Para lograr la máxima eficiencia en la frontera, se propone una solución que implica un problema de programación lineal de segunda etapa. Este enfoque apunta a maximizar la holgura acumulada requerida para la transición de un punto ineficiente en la frontera (representado como A' en el gráfico) a un punto eficiente en la frontera (como el punto C):

$$\begin{aligned} \min_{\lambda, OS, IS} & -(M1'OS + K1'IS), \\ \text{st} & \quad -y_i + Y\lambda - OS = 0, \\ & \quad \theta x_i - X\lambda - IS = 0, \\ & \quad \lambda \geq 0, OS \geq 0, IS \geq 0, \end{aligned}$$

La holgura de salida está representada por un vector OS de tamaño $M \times 1$, mientras que la holgura de entrada está representada por un vector IS de tamaño $K \times 1$. Además, existen vectores unitarios M1 y K1, que tienen las mismas dimensiones que los vectores OS e IS respectivamente. Es importante señalar que en esta etapa el valor de θ no es variable y se obtiene de los resultados obtenidos en la primera etapa. Además, este problema debe resolverse para cada una de las DMU presentes en la muestra.

Hay dos cuestiones importantes relacionadas con esta segunda etapa que deben considerarse. El problema inicial es bastante evidente, ya que se centra en maximizar la cantidad total de holgura en lugar de minimizarla. En consecuencia, en lugar de identificar el punto eficiente más cercano, termina señalando el punto eficiente más lejano. El segundo problema radica en su falta de invariancia con las unidades de medida. Cualquier cambio realizado en las unidades de medida podría dar lugar a la identificación de fronteras de eficiencia distintas, lo que daría lugar a diferentes niveles de autorizaciones y mediciones de eficiencia.

No obstante, las preocupaciones antes mencionadas no plantean un desafío en el ejemplo ilustrado en la gráfica anterior debido a la presencia de una sola solución óptima. Sin embargo, si la holgura se produce en dos o más dimensiones, como suele ocurrir, pueden surgir los problemas antes mencionados. Debido a esta cuestión, numerosos estudios optan por resolver únicamente el problema lineal inicial para determinar los valores de las medidas técnicas radiales de eficiencia de Farrell (θ) para cada DMU, ignorando por completo los espacios libres. Alternativamente, calculan la medida de eficiencia Farrell (θ) y las holguras residuales, que se calculan como $OS = -$

$y_i + Y\lambda$ e $IS = \theta x_i - X\lambda$. Sin embargo, este enfoque de obtener holgura no está exento de desafíos, ya que no garantiza que se proporcione toda la holgura. En consecuencia, no siempre es posible identificar el punto eficiente más cercano para cada DMU.

Un posible enfoque para abordar el problema antes mencionado implica emplear múltiples etapas del problema de programación lineal. El método DEA de múltiples etapas requiere un nivel significativamente mayor de esfuerzo computacional en comparación con los otros dos métodos, como se explica en el estudio de Coelli de 1997. Sin embargo, esta solución ofrece varios beneficios. En primer lugar, permite identificar puntos eficientes que involucran múltiples entradas y salidas. Además, estos puntos no se ven afectados por variaciones en las unidades de medida.

Las holguras son el resultado directo del uso del método de construcción de límites de la DEA y del trabajo con tamaños de muestra limitados. Sin embargo, si tuviéramos acceso a un tamaño de muestra infinito o usáramos un método diferente de construcción de límites que involucrara una superficie funcional suave, el problema de holgura dejaría de existir. Además, es completamente lógico estar de acuerdo con Ferrier y Lovell (1990), quienes sostienen que las holguras indican un problema de ineficiencia asignativa (Parra Rodríguez, s.f.).

Como tal, al realizar un análisis de eficiencia técnica, se recomienda utilizar principalmente la medida de eficiencia radial descrita en la ecuación 12 de la DEA. Sin embargo, para aquellos que estén decididos a identificar puntos proyectados eficientes según Koopmans, es aconsejable emplear el método multietapa debido a las justificaciones explicadas anteriormente.

Modelo de rendimientos variables a escala

El supuesto de CRS es válido sólo si todas las DMU funcionan a su escala óptima. Sin embargo, en casos de competencia imperfecta, es posible que las DMU no estén operando a su escala óptima. Para abordar esto, Banker, Charnes y Cooper (1984) propusieron una extensión del modelo CRS DEA llamada rendimientos variables a escala (VRS). Si se utiliza la especificación CRS cuando las DMU no funcionan a una escala óptima, las mediciones de eficiencia técnica (TE) pueden verse distorsionadas por las eficiencias de escala (SE). Al utilizar la especificación VRS, se puede calcular TE sin la influencia de SE.

El programa lineal CRS se cambia a VRS incluyendo una restricción de convexidad: $\sum \lambda = 1$ en la ecuación:

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta, \\ \text{st} \quad & -y_i + Y\lambda \geq 0, \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0, \end{aligned}$$

con lo que:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} & \theta \\ \text{st} & -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & N1'\lambda = 1 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

El enfoque implica el uso de un vector $N1$, que es un vector columna que consta de unos. Este método construye un casco convexo formado por planos que se cruzan y que están más alineados con los puntos de referencia en comparación con el casco cónico del CRS. Como resultado, las medidas de eficiencia obtenidas utilizando este enfoque son iguales o mayores que las logradas con el modelo CRS. El método VRS ha ganado una gran popularidad en los últimos años y se utiliza ampliamente en diversas aplicaciones.

Las orientaciones al Input y al Output

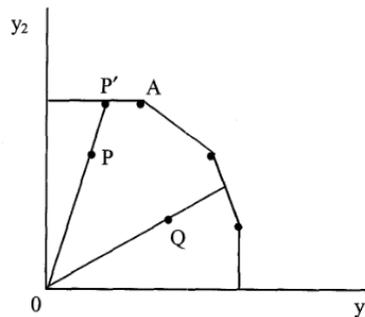
En los modelos orientados a insumos, la identificación de la ineficiencia técnica implica calcular la reducción proporcional en el uso de insumos, lo que se alinea con la medida de ineficiencia técnica basada en insumos de Farrell. Vale la pena señalar que la ineficiencia técnica también se puede medir como un aumento proporcional en la producción. Estas dos medidas arrojan el mismo valor cuando se aplica el supuesto de rendimientos constantes a escala (CRS), pero difieren cuando se utiliza el supuesto de rendimientos variables a escala (VRS). La elección de una orientación apropiada en la programación lineal no es tan crítica como lo es en la evaluación econométrica, ya que la programación lineal no requiere las mismas cualidades que los métodos estadísticos. En determinadas industrias, puede haber una cantidad fija de recursos disponibles para la producción de productos, lo que hace más adecuada una orientación hacia la producción. En última instancia, la elección entre orientación hacia los insumos y hacia los resultados depende de qué aspecto tienen los gerentes mayor control. Además, a menudo se observa que la elección de la orientación tiene un impacto mínimo en las puntuaciones obtenidas.

Los modelos orientados a resultados, como el modelo VRS orientado a resultados, comparten muchas similitudes con sus modelos homólogos orientados a insumos:

$$\begin{aligned}
& \max_{\phi, \lambda} \phi, \\
& \text{st} \quad -\phi y_i + Y\lambda \geq 0, \\
& \quad \quad x_i - X\lambda \geq 0, \\
& \quad \quad N1'\lambda = 1 \\
& \quad \quad \lambda \geq 0,
\end{aligned}$$

El valor de ϕ , donde ϕ es mayor o igual a 1 y menor que infinito, representa el aumento proporcional en los resultados que puede lograr una DMU sin cambiar las cantidades de insumos utilizados. Es importante señalar que el recíproco de ϕ , que es $1/\phi$, define una puntuación de eficiencia técnica entre 0 y 1.

Un ejemplo de un problema de Análisis Envolvente de Datos (DEA) centrado en la producción que involucra dos productos se puede representar mediante una curva de posibilidad de producción segmentada lineal, como se ilustra en el gráfico que sigue.



En este gráfico, el punto P se proyecta al punto P', que se encuentra en la frontera pero no en la frontera eficiente. Esto se debe al hecho de que la producción de y_1 puede mejorarse con la cantidad AP' sin requerir insumos adicionales. Esto representa el excedente de producción, específicamente el excedente de AP' en relación tanto con la producción como con los insumos.

Vale la pena señalar que los modelos orientados a insumos y orientados a productos producirán estimaciones idénticas de la frontera, lo que significa que identificarán el mismo conjunto de Unidades de Toma de Decisiones (DMU) eficientes de acuerdo con sus respectivas definiciones. Sin embargo, la distinción entre estos dos métodos radica en las puntuaciones asignadas a las DMU ineficientes.

Reflexiones finales

En el ámbito de la producción, la calidad se puede definir como el grado en que un producto se alinea con las especificaciones deseadas en términos de sus atributos y cumple con las expectativas del cliente. Al adquirir conocimientos sobre estas herramientas y comprender su funcionamiento, podemos mejorar la calidad general del producto o servicio, lo que posteriormente conducirá a una mayor productividad y rentabilidad. • Causas de variación asignables o especiales: Son causas que provocan que un proceso ya no pueda controlarse y, aunque son raras, su impacto es significativo. La probabilidad de que los datos superen los límites naturales es muy baja. Six Sigma es una metodología que tiene como objetivo alcanzar un nivel de calidad en el que solo hay 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), definiéndose un defecto como cualquier caso en el que un producto no cumple con los requisitos especificados. Esta relación entre SPC y Six Sigma se basa en que estos límites de control ayudan a identificar y monitorear variaciones dentro del proceso, contribuyendo así al objetivo de alcanzar los niveles de calidad Six Sigma. Como resultado, los límites de control se emplean para evaluar el desempeño general de un proceso, mientras que los límites de especificación se utilizan para determinar si los productos finales cumplen con los requisitos necesarios.

Bibliografía

- Bravo Balseca, J. C., & Herrera Sánchez, D. M. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de control estadístico de procesos en la platanera san Eduardo provincia de Manabí recinto la valencia* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Camisón, C., Cruz, S., y González, T. (2006). *GESTIÓN DE LA CALIDAD: CONCEPTOS, ENFOQUES, MODELOS Y SISTEMAS*. Pearson, Prentice Hill.
- Casadesús, M.; Heras, I. y Merino, J. (2005). *Calidad práctica. Una guía para no perderse en el mundo de la calidad*. Prentice Hall / Financial Times, Madrid
- Control Estadístico de la Calidad en los procesos de producción*. (s/f). Farmaindustrial.com. Recuperado el 6 de noviembre de 2023, de <https://www.farmaindustrial.com/articulos-online/control-estadistico-de-la-calidad-en-los-procesos-de-produccion-Xx7IE>
- Guerrero Valencia, B. E. G. (2019). *Control estadístico de procesos y la productividad en la empresa talabartería y artesanías Valencia*, Huacho 2018.
- Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad total y productividad*.
- Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Calidad y productividad*.
- Hernández-Pedrerera, C., & Da Silva-Portofilipe, F. (2016). Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad. *Tecnología Química*, XXXVI(1), 130-145.
- Herrera Astudillo, E. Y. (2020). *Estudio del proceso de fabricación de perfiles laminados en caliente, para el control estadístico del producto en la empresa Novacero SA* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: UTC.).
- Imai, M. (1991). *Kaizen: the key to Japan's competitive success*. Random House, Nueva York. Edición española: *KAIZEN, la clave de la ventaja competitiva japonesa*. Compañía Editorial Continental S.A. (CECSA), México.
- Ishikawa, K. (1989). How to apply company-wide quality control in foreign countries. *Quality Progress*, 22 (9), pp. 70-74.
- Laoyan, S. (2022, noviembre 2). *Todo lo que necesitas saber sobre Six Sigma [2022]*. Asana. <https://asana.com/es/resources/six-sigma>

- Lara Contreras, D. D. C., & Tache Jimenez, M. R. (2002). *Laboratorio de prácticas de control estadístico para la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Cartagena* (Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena).
- Llanos Torres, J. A., & Rodríguez Ledezma, J. N. (2023). Propuesta de mejora en la gestión de la calidad para incrementar la productividad de una empresa panadera, Trujillo 2021.
- López Villarroel, P. M., & Gómez Sancho, M. D. L. Á. (2019). *El control de calidad y la productividad en las empresas textiles productoras de la provincia de Tungurahua* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Administrativas. Carrera Organización de Empresas).
- Martel, W. A. R. (2013). Incremento de la productividad a través de la mejora continua en calidad en la subunidad de procesamiento de datos en una empresa courier: el caso Perú Courier. *Industrial data*, 16(2), 59-66.
- Mateos, P. (2001). *Dirección y objetivos de la empresa actual*. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid.
- Merl, G. O. (2012). Gestión de la calidad: Control estadístico y Seis Sigma. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 14(2), 269-286.
- Montgomery, D. C., & García, R. P. (2004). *Control estadístico de la calidad* (No. 658.562 M66 2004.). Limusa Wiley.
- Ormaza Morejón, M. F. (2017). *La calidad del proceso productivo y la aplicación del control estadístico en el sector de la confección textil* (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Administrativas. Maestría en Gestión Empresarial basado en Métodos Cuantitativos).
- Parra Rodríguez, F.J. (s.f.). *Análisis de eficiencia y productividad*.
- Pérez, J.M. (2004), La relación de EMAS e ISO 14000: algunos apuntes sobre la complementariedad. En Betancor, A. y Larrinaga, C. (dirs., 2004), *EMAS: análisis, experiencias e implantación*. ECOIURIS, Madrid.
- Pincay Reyes, M. G. (2017). *Análisis a través del control estadístico en el proceso de envasado de GMS en una empresa del sector alimenticio* (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, Trabajo de Titulación Ingenieros Industriales).

Pierdant Rodríguez, A. I., & Rodríguez Franco, J. (2009). Control estadístico de la calidad de un servicio mediante Gráficas X y R. *Política y Cultura*, (32), 151-169.

Sanchez Gomez, L. A. (2018). Aplicación de metodología DMAIC, para aumentar la productividad en el área de corte, de la empresa FITESA PERÚ, Cajamarquilla, 2017-2018.



MAR CARIBE

EDITORIAL

LIBRO DE INVESTIGACIÓN

GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS Y FINANCIEROS EN LA ADMINISTRACIÓN



MAR CARIBE

EDITORIAL

“En la actualidad, la empresa se enfrenta al desafío de navegar en un mercado altamente competitivo e impredecible, caracterizado por dificultades tanto en las ventas como en la producción”

— LUIS ALBERTO BARRIGA ROA

Depósito Legal Nro.: 202312095

ESCRITO POR

LUIS ALBERTO BARRIGA ROA
CLAUDIA DE JESUS MORALES AQUITUARI
MIA LUCIA GUILLEN GUEVARA
KETTY ALARCON RAMIREZ
JUDITH ELENA VÁSQUEZ DORADO
WILSON GUERRA SANGAMA