



## CAPÍTULO II

# LA CALIDAD DESDE SUS FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para hablar de la fundamentación teórica que rige la calidad se hace necesario citar a aquellos autores, exponentes, maestros y teóricos, cuyas filosofías, conceptos o aportes han ayudado a construir el bagaje de la calidad a lo largo de la historia y que en su argot se les conoce como “gurús de la calidad”<sup>1</sup>.

Las respuestas a las preguntas ¿qué es calidad?, ¿qué herramientas contribuyen a la misma?, ¿qué utilidad tiene? y ¿cómo se implementa en un producto, servicio, proceso, organización o cadena de suministro?, han sido teorizadas y llevadas a la práctica de acuerdo con las versiones que cada autor ha planteado, logrando hasta el momento una acumulación de teorías y prácticas que permiten a las organizaciones avanzar de una fase o estado de actuación a uno mejorado, continuamente, pues aunque hoy en día “sus conceptos no son nuevos, están vigentes y son fundamentales en todo programa de calidad actual” (Escalante, 2006, p.23).

Esta parte del libro expone las teorías, definiciones, herramientas y análisis que los principales autores sobre calidad aportaron a lo largo de la historia, enfatizando en aquellas que orientaron la formulación de los factores y guías de calidad que esta obra propone.

Cada uno de estos maestros de la calidad es presentado con base en la cronología de su nacimiento. Se incluyen, además, aportes complementarios hechos por otros autores modernos como elementos vitales y vigentes para el logro de la calidad de los productos, los servicios, los procesos y las organizaciones en general.

## 2.1 SHEWHART (1891-1967)

Walter Andrew Shewhart es conocido como el padre del control estadístico de la calidad, el verdadero padre o el abuelo de la calidad, si se consideran a Deming y a Juran como los padres de la misma (Firka, s.f.).

Shewhart formuló la base científica para asegurar el control económico del producto manufacturado, a través de la reducción de la variación de los procesos de fabricación, para lo cual creó los gráficos de control estadístico de procesos, CEP:

---

<sup>1</sup>De acuerdo con la RAE, gurú es la “persona a quien se considera maestro o guía espiritual, o a quien se le reconoce autoridad intelectual” (RAE, 2017). Gurú de la calidad, es considerado por tanto el autor, exponente, maestro o teórico que hizo o hace aportes de alto impacto a la disciplina de la calidad.

*Estructuró el problema en términos de "causas asignables" y "causas comunes" de variación e introdujo "el gráfico de control" como una herramienta para distinguir y separar ambos tipos. Shewhart enfatizó que el poner un proceso productivo dentro de "control estadístico", donde solamente hubiera "causas comunes" de variación, y después mantenerlo en ese estado, es necesario para predecir el comportamiento futuro y administrar el proceso de forma económica. (Firka, s.f.)*

Es el inventor del ciclo de Shewhart o ciclo PHVA (Planear – Hacer – Verificar – Actuar) que Deming popularizaría en Japón tras la segunda guerra mundial.

Los trabajos que desarrolló a lo largo de su vida le permitieron establecer fundamentos científicos y filosóficos que inspiraron a otros gurús y dieron las bases para otras teorías de calidad y para el funcionamiento de importantes organizaciones que trabajan en pro de la calidad:

- La Sociedad Americana para Prueba de Materiales, ASTM, adoptó los gráficos de control de Shewhart que les permitiría desarrollar las normas American War Standards Z1.1, Z1.2 y Z1.3, más adelante conocidas como Military Standards.
- W. Edwards Deming se basó en las ideas de Shewhart para desarrollar su modelo de administración y difundió las herramientas de Shewhart en Japón.
- El Departamento de Guerra de los Estados Unidos EEUU, la Organización de las Naciones Unidas ONU y el gobierno de la India, lo incorporaron como Consultor.
- Fue miembro activo, directivo y/o honorario de importantes sociedades y asociaciones, como el Consejo Nacional de Investigación, el Instituto Internacional de Estadísticas, la Sociedad Real de Estadística de Inglaterra, la Asociación de Estadísticas de la India, el Instituto de Estadísticas Matemáticas, la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, la Asociación Americana de Estadística, la Sociedad de Econometría, el Instituto Internacional de Estadística, la Academia de Ciencias de Nueva York y la Sociedad Americana de Calidad, ASQ, a todas las cuales hizo importantes aportes.
- Los creadores de la metodología Six Sigma redescubrieron la genialidad de los aportes de Shewhart y los incorporaron en la misma.

Este libro retoma, específicamente, las contribuciones de Shewhart con sus gráficos de control y su ciclo PHVA, como parte de los factores de calidad que considera dentro del capítulo 3, por lo cual se desarrollan con mayor profundidad, en adelante.

### 2.1.1 Gráficos de control

Shewhart (citado por Escalante, 2006, p.107) definió los gráficos de control como “herramientas estadísticas que muestran el comportamiento de cierta característica de calidad de un proceso o producto con respecto al tiempo”.

Decidir aplicar esta herramienta obedece a la necesidad que se tiene de controlar la variabilidad que presentan los procesos de fabricación y/o de prestación de servicio, o la variación, entendida como la presencia de cambios o fluctuaciones en las características de un bien o servicio.

El fenómeno de la variación es inevitable:

*Durante las operaciones de manufactura puede ocurrir mucha variación. Los parámetros de las máquinas se desajustan; los operadores y armadores cometen errores; o los materiales pueden estar defectuosos. Incluso en el proceso más controlado, las variaciones específicas en el resultado son inevitables e impredecibles. La función de manufactura debe garantizar que se cumplen las especificaciones de diseño durante la producción y que el desempeño del producto final es el esperado. (Evans & Lindsay, 2008, p.15)*

Si se quiere garantizar calidad del producto final obtenido o del servicio prestado, es necesario garantizar la calidad en el proceso de fabricación o de prestación del servicio; para ello, es indispensable controlar la variabilidad del proceso y con ello, la variación del producto o servicio obtenido.

De acuerdo con Escalante (2006, p.17), “un sinónimo de calidad es uniformidad o “antivariación”, es decir, existe una relación inversa entre calidad y variación: a menor variación, mayor calidad”.

Según Evans y Lindsay, si se entiende el proceso, la razón por la cual varía y el efecto que se produce debido a la variación, será posible ejecutar mejores acciones de solución:

*Cualquier proceso de producción contiene diversas fuentes de variación (...) Las interacciones complejas de estas variaciones en los materiales, herramientas, máquinas, operadores y el ambiente no son fáciles de entender. La variación debido a cualquiera de*

*estas fuentes aparece en forma aleatoria; no es posible identificar ni explicar las fuentes individuales. Sin embargo, su efecto combinado es estable y, por lo regular, es posible predecirlo estadísticamente. (Evans & Lindsay, 2008, p.542)*

De allí la importancia de conocer el tipo de variaciones que pueden detectarse en los procesos productivos de bienes o servicios.

En primera instancia, se tienen las causas comunes que de acuerdo con Shewhart (citado por Escalante, 2006, p.108), “se deben al sistema: diseño deficiente, materiales inadecuados, mala iluminación, etc.”. Por su parte, Evans y Lindsay consideran que estas causas “están presentes como parte natural de un proceso”:

*(...) son resultado del diseño del producto y del sistema de producción y, por lo general, representan 80 a 95 por ciento de la variación observada en el resultado de un proceso de producción. Por tanto, la variación debido a causas comunes sólo se puede reducir rediseñando el producto o proporcionando mejor tecnología o entrenamiento y capacitación en el proceso de producción. (Evans & Lindsay, 2008, pp.542-543)*

En segundo lugar, se tienen las causas especiales que Shewhart (citado por Escalante, 2006, p.108) consideró “se deben a situaciones particulares o “especiales” (...) máquinas desajustadas, métodos ligeramente alterados, diferencias entre trabajadores, etc.”. Al respecto, Evans y Lindsay, también las llaman causas asignables:

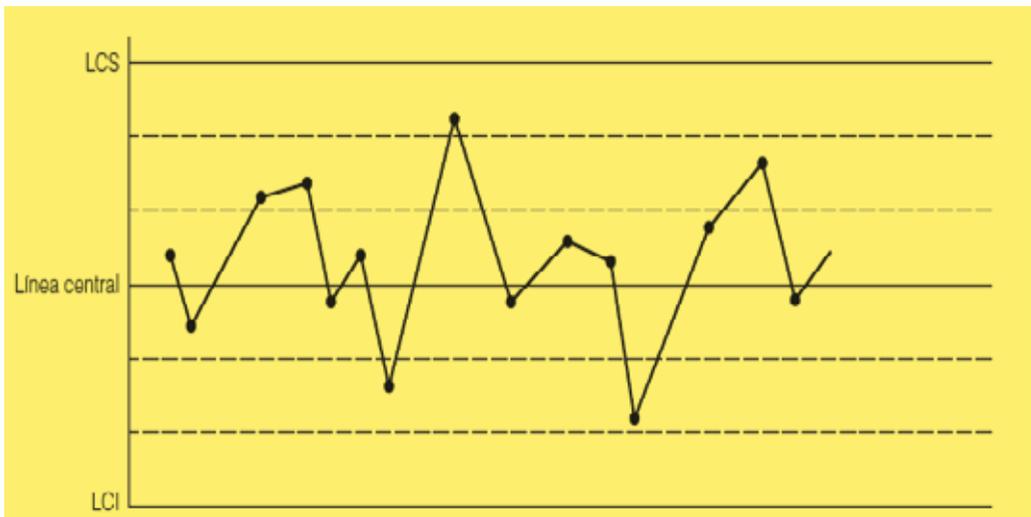
*Las causas especiales surgen de fuentes externas que no son inherentes al proceso; aparecen de manera esporádica e interrumpen el patrón aleatorio de las causas comunes; por tanto, suelen detectarse con facilidad utilizando métodos estadísticos, y casi siempre su corrección resulta económica. (Evans & Lindsay, 2008, p.543)*

Estos autores consideran que además de que las gráficas de control son herramientas de fácil uso y aplicación, contribuyen en gran medida a la calidad de una organización, pues permiten conocer el estado de control estadístico dentro de un proceso de fabricación o prestación de servicio, detectar si el proceso se sale de control y determinar la capacidad de dicho proceso.

El conocimiento del estado de control estadístico de un proceso, se logra al elaborar los gráficos de control, los cuales se componen de:

- Unos puntos correspondientes a la medición de una característica de calidad.
- Una escala vertical en la cual se relacionan las desviaciones respecto a la media que sufren dichas mediciones.
- Una escala horizontal que representa el consecutivo en que se toman las mediciones.
- Un límite central de especificación, que corresponde al valor esperado de la característica de calidad medida.
- Unos límites superior e inferior de especificación, que corresponden a los topes máximo y mínimo, respectivamente, dentro de los cuales se espera que la medición de la característica de calidad se comporte.

La detección de un proceso fuera de control se hace cuando algún punto correspondiente a las mediciones de la característica de calidad está por fuera de los límites superior o inferior de especificación (Escalante, 2006).



**Figura 3.** Gráfico de control genérico (Evans & Lindsay, 2008, p.728).

La clasificación de los gráficos de control varía de acuerdo con el tipo de datos que van a contener; asimismo, su elaboración dependerá del tipo de datos que contiene. Existen 8 tipos de gráficos de control, agrupados en dos grandes grupos: Gráficos de Control por Variables y Gráficos de Control por Atributos. Cada uno de ellos tiene un procedimiento de elaboración diferente (Escalante, 2006).

Los gráficos de control por variables se deben utilizar cuando la calidad del producto se evalúa a través de mediciones de una variable. Dentro de ellos hay de 4 tipos: gráfico  $\bar{X}$ , gráfico R, gráfico MI, gráfico RM.

El gráfico  $\bar{X}$  se usa cuando la decisión de ajuste del proceso depende del valor de la media de las medias de las mediciones hallada en la muestra del producto. El gráfico R se usa cuando la decisión de ajuste del proceso depende del valor de la media del rango de las mediciones hallada en la muestra del producto. Los gráficos MI y RM se usan cuando se ha llegado a un buen grado de control del proceso o en el caso de que se tengan pruebas destructivas costosas.

Los gráficos de control por atributos se deben utilizar cuando la calidad del producto se evalúa a través de características discretas, cualitativas, no cuantificables numéricamente, como aceptable/no aceptable, sí/no, pasa/no pasa. Los hay de 4 tipos: gráfico p, gráfico np, gráfico C, gráfico U.

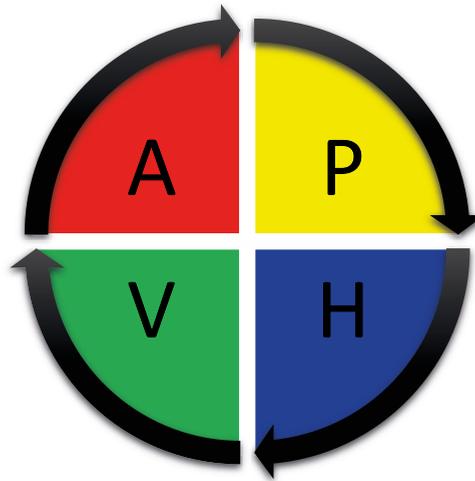
El gráfico p se usa cuando se evalúa la proporción de artículos defectuosos como fracción o porcentaje de unidades defectuosas. El gráfico np se usa cuando se evalúa el número de los artículos defectuosos como número de unidades defectuosas. El gráfico C se usa cuando se evalúa el número de defectos por unidad producida o por artículo producido, cuando dichas unidades son constantes y los eventos o defectos sean independientes entre ellos. Finalmente, el gráfico U se usa cuando se evalúa el número de defectos por unidad producida, obtenida en la muestra, cuando dichas unidades no son constantes.

La capacidad del proceso se determina haciendo un estudio que muestre el desempeño del proceso bajo las condiciones operativas que se hayan especificado para él; este desempeño conoce cuándo es posible determinar dónde se centra el proceso, qué tan variable es, qué tan aceptable es dicho desempeño frente a las especificaciones que se tienen del mismo, qué proporción de mediciones cumple con especificaciones y qué factores han contribuido con la variabilidad del proceso (Evans & Lindsay, 2008).

### 2.1.2 Ciclo PHVA

Shewhart (citado por Escalante) lo creó como un procedimiento para el mejoramiento: “Es una guía lógica y racional para actuar en una gran variedad de situaciones” (Escalante, 2006, p.43).

Este ciclo, mostrado en la Figura 4, fue descrito por Shewhart en su obra “Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control”.



**Figura 4.** Ciclo PHVA (Elaboración propia).

En 1950 en Japón, Deming lo llamó ciclo de Shewhart, pero tiempo después de ser implementado en esa nación, se conoció con el nombre de ciclo de Deming (Deming, 1989).

Deming lo define como “un procedimiento valioso que ayuda a perseguir la mejora en cualquier etapa; también es un procedimiento para descubrir una causa especial que haya sido detectada por una señal estadística” (Deming, 1989, p.67).

Evans y Lindsay plantean que el ciclo de Shewhart es útil para dar guía a las actividades de mejora que emprende una organización, tanto a corto como a largo plazo (Evans & Lindsay, 2008). Los autores hacen una explicación detallada de cada una de las etapas que conforman el ciclo:

- Planear: etapa en la que se estudia y caracteriza el estado actual de la situación que desea mejorarse.
- Hacer: etapa en la que se ejecuta lo que se planeó; los autores recomiendan hacerlo a modo de prueba piloto.
- Verificar: etapa que evalúa si el plan ejecutado funcionó como se planeó; se analizan los resultados obtenidos y las fallas en las que se pudo haber incurrido.
- Actuar: etapa que se encarga de estandarizar las mejoras logradas y se comunica al resto de la organización; en esta misma etapa, se modifican o desechan aquellos aspectos que no funcionaron en la implementación.

## 2.2 DEMING (1900-1993)

William Edwards Deming, junto con Juran, es conocido como uno de los padres de la calidad.

Sus teorías hicieron importantes aportes a la administración aún más que a la calidad, logrando transformar las prácticas gerenciales, tanto de empresas industriales como de servicios y en organizaciones públicas, privadas e incluso educativas (Calidad.com, 2010).

El autor no definió la calidad de manera precisa; sin embargo, enfatizó en que la mala calidad era consecuencia de la variación, ratificando así los postulados hechos por Shewhart con anterioridad. Para ello, propuso un ciclo que consistía en una primera etapa de diseño del bien o servicio, seguida de la manufactura o prestación del servicio, con posteriores pruebas y ventas, continuando con estudios de mercado y luego rediseño y mejora (Evans & Lindsay, 2008). Uno de sus aportes más importantes consistió en su afirmación respecto a la reacción en cadena que se genera en la calidad, que afecta la productividad y, por ende, la competitividad de una empresa:

*Afirmó que una calidad más alta lleva a una mayor productividad que, a su vez, da lugar a una fuerza competitiva a largo plazo. En la teoría de “reacción en cadena” de Deming se resume este punto de vista. Esta teoría afirma que las mejoras en la calidad originan menores costos porque el resultado es menos reproceso, menos errores, menos demoras y mejor uso del tiempo y el material. A su vez, los costos más bajos dan lugar a mejoras en la productividad. Con una mejor calidad y precios más bajos, una empresa puede lograr mayor participación en el mercado y, de esta manera, subsistir, ofreciendo cada vez más empleos. (Evans & Lindsay, 2008, p.94)*

La filosofía de Deming, que hizo grandes aportes a la administración, en especial a las altas direcciones de las organizaciones, fue resumida por él mismo en lo que hoy conocemos como los 14 puntos de Deming, con los cuales “ofrece las perspectivas críticas necesarias para diseñar prácticas administrativas eficaces y tomar decisiones en el complejo ambiente de negocios de hoy día” (Evans & Lindsay, 2008, p.95) y en las 7 enfermedades mortales de la gerencia, que se oponen a la transformación del estilo de gestión occidental, propuesto en los 14 puntos.

Este libro retoma, específicamente, los aportes que Deming hizo a la administración con sus 14 puntos para la gestión y sus 7 enfermedades mortales, las cuales se desarrollan con mayor profundidad, en adelante, y su concepto de la reacción en cadena que se genera en la calidad, que afecta la productividad y la competitividad de una empresa, como parte de las guías orientadoras de la calidad que considera dentro del capítulo 3.

### 2.2.1 Catorce puntos para la gestión

En su obra “Calidad, Productividad y Competitividad: La Salida de la Crisis”, Deming presenta los 14 puntos para gestión, como se muestra a continuación:

1. Tener el propósito de mejorar productos y servicios
2. Cambiar la filosofía de trabajo
3. Dejar de depender de la inspección
4. Obtener ganancias basándose en la calidad
5. Mejorar continuamente el proceso y los servicios en la compañía
6. Practicar el entrenamiento en el puesto
7. Practicar la supervisión efectiva: guía, apoyo y confianza
8. Eliminar el miedo
9. Fomentar la unión entre departamentos
10. No poner lemas o metas de productividad
11. No poner estándares de trabajo con cuotas numéricas
12. Reconocer la labor individual (obreros, empleados y directivos)
13. Instituir un programa de capacitación
14. Impulsar diariamente los trece puntos anteriores

### 2.2.2 Siete enfermedades mortales

En su obra “Calidad, Productividad y Competitividad: La Salida de la Crisis”, Deming presenta las siete enfermedades mortales como se muestra a continuación:

1. Falta de constancia en los propósitos
2. Énfasis en las ganancias a corto plazo y los dividendos inmediatos
3. Evaluación por rendimiento, clasificación de méritos o revisión anual de resultados
4. Movilidad de los ejecutivos
5. Gerencia de la compañía basándose solamente en las cifras visibles
6. Costos médicos excesivos
7. Costo excesivo de garantías

### 2.3 JURAN (1904-2008)

Joseph Moses Juran, junto con Deming, es conocido como uno de los padres de la calidad.

Coincidió con Deming en que la forma de solucionar la crisis de la calidad de las empresas estadounidenses en los años 50 requería una “nueva manera de pensar respecto a la calidad que incluía todos los niveles de la jerarquía administrativa” (Evans & Lindsay, 2008, p.107). Sin embargo, mientras que Deming proponía para ello un cambio cultural organizativo, hablado en el “idioma” de la estadística como lenguaje común, Juran consideró que para mejorar la calidad se requería seguir trabajando dentro del sistema con el que la organización estaba acostumbrada a trabajar; así, diseñó programas que se adaptaron a la estrategia del negocio, los cuales estaban hablados en el mismo “idioma” de los funcionarios en sus diferentes niveles jerárquicos:

*Juran afirmaba que los directores hablan el lenguaje del dinero; los trabajadores el lenguaje de las cosas, y la gerencia media debe hablar ambos idiomas y traducir de dinero a cosas. Por consiguiente, para captar la atención de los directores, las cuestiones relacionadas con la calidad se deben expresar en el idioma que ellos entienden: el dinero. De ahí que Juran se inclinara por el uso de la contabilidad de costos de calidad y el análisis para centrar la atención en los problemas de calidad. En el nivel operativo, Juran se enfocó en aumentar el cumplimiento con las especificaciones mediante la eliminación de defectos, apoyado en gran medida por las herramientas de estadística para el análisis. Por tanto, su filosofía se adapta muy bien a los sistemas administrativos existentes. (Evans & Lindsay, 2008, pp.107-108)*

El autor definió la calidad como “adaptación al uso” (Evans & Lindsay, 2008, p.108), lo cual implica “(1) el desempeño del producto que da como resultado la satisfacción del cliente; (2) productos sin deficiencias, lo que evita la insatisfacción del cliente” (Evans & Lindsay, 2008, p.108).

Escalante (2006), en su libro “Análisis y Mejoramiento de la Calidad”, expone las ideas principales que Juran desarrolló para la administración de la calidad, las cuales se resumen en lo siguiente:

1. Mejoramiento de la Calidad por Parte de la Administración
2. Mejoramiento de la Calidad por Parte de los Trabajadores
3. Relación con Proveedores

4. Concepto de Autocontrol
5. Auditorías de Calidad
6. Relación con Clientes
7. Establecimiento de las Políticas de Calidad
8. Manual de Calidad
9. Entrenamiento
10. Mejoramiento Continuo

Juran también conceptualizó el principio de Pareto hacia la calidad, al proponer clasificar los clientes en dos categorías básicas: los “pocos vitales” y los “muchos útiles” (Juran, 1988, p.23), principio que se popularizó como la Ley 80-20, llegando a ser una herramienta de aplicación generalizada en la administración moderna. Logró universalizar este principio para darle aplicabilidad en campos diferentes al que le dio Pareto en la Economía; sin embargo y como él mismo lo publicara, erró al no reconocer otros autores que como él también llegaron a la misma conclusión en otras disciplinas y al mantener el nombre de Pareto y no haberlo renombrado como Principio de Juran (Juran, 1975).

Otro importante aporte fue la Trilogía de Juran, que en la actualidad es una marca registrada y uno de sus legados más influyentes; consiste en tres procesos: planificación de la calidad - control de calidad - mejora de la calidad, necesarios para la gestión de una organización (Juran, 1988, pp.9-10).

Este libro retoma, específicamente, los aportes de Juran con su principio de Pareto y su trilogía de la calidad, como parte de los factores de calidad que considera dentro del capítulo 3, por lo cual se desarrollan con mayor profundidad, en adelante.

### **2.3.1 Principio de Pareto**

En su obra “Principios de Administración de Operaciones”, Heizer y Render aluden a diversas aplicaciones del Principio de Pareto. Para la mezcla de productos o administración de los inventarios, explican que la organización debe invertir sus recursos en la obtención de pocos artículos importantes y no en muchos triviales. Para la calidad, plantean que el 80% de los problemas organizacionales son debidos solamente a 20% de las causas y que esto puede evidenciarse a través de la aplicación del Principio de Pareto (Heizer & Render, 2009).

Este principio se verifica a través del uso de una herramienta estadística que ha sido llamada Gráfica de Pareto, la cual permite identificar y contrastar lo más importante de lo menos

importante; al tratarse de una herramienta gráfica, su análisis permite el monitoreo de procesos, detectando gráficamente áreas problemáticas y la forma cómo pueden mejorarse.

Esta herramienta requiere el ordenamiento de los problemas o defectos en un orden descendente de frecuencia en que ocurren; así, aquello que ocurre con más frecuencia es a lo que más atención debería prestársele (Heizer & Render, 2009). En la Figura 5 pueden apreciarse barras verticales de mayor altura, las cuales muestran aquellos hechos que ocurren con más frecuencia.

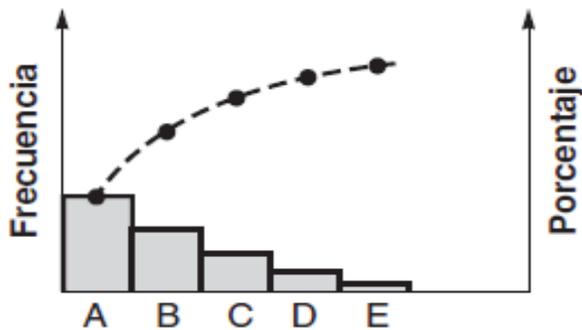


Figura 5. Gráfica de Pareto (Heizer & Render, 2009, p.204).

### 2.3.2 Trilogía de la calidad

La Trilogía de la calidad consiste en tres procesos denominados planificación, control y mejora de la calidad (Evans & Lindsay, 2008), como lo explica la Figura 6.

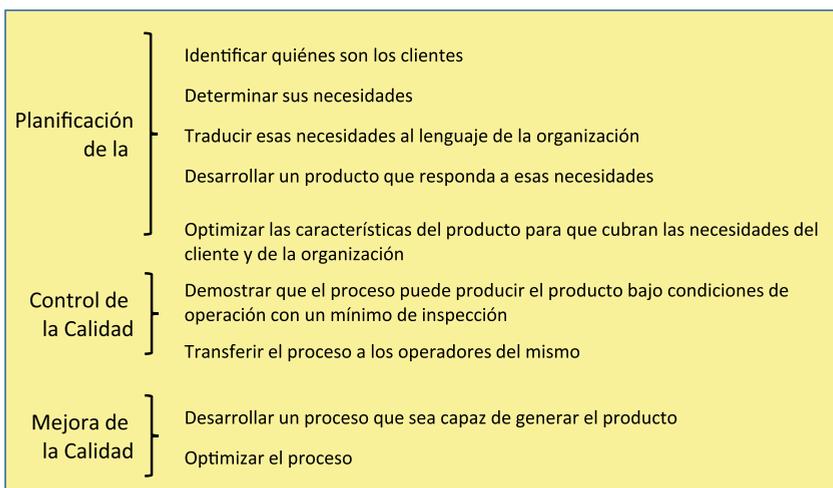


Figura 6. Trilogía de la calidad (Adaptada de Evans & Lindsay, 2008).

Estos tres procesos presentan similitud con el Ciclo PHVA de Shewhart y Deming, y constituyen la base de los sistemas de gestión de la calidad que se manejan en la actualidad.

## 2.4 SHINGO (1909-1990)

Shigeo Shingo es menos conocido en occidente que Taguchi o Ishikawa; sin embargo, su incidencia en Japón fue inmensa, gracias a su sistema poka-yoke, el concepto Control de Calidad Cero y el sistema SMED.

“Realizó grandes contribuciones al mejoramiento de procesos de manufactura” (Escalante, 2006, pp.49-50), entre ellos el sistema SMED, por sus siglas en inglés Single-Minute Exchange of Die, que en español se ha conocido como “Cambio de Troquel en Un Minuto”, el cual minimiza el tiempo requerido para cambios de montajes en producción, lo que reduce los tiempos inactivos, vuelve más flexible la producción y permite programar lotes más pequeños. Esto, a su vez, requiere menos existencias de materia prima y de productos terminados que cubran las interrupciones productivas. Gracias a su sistema SMED, fue posible la inclusión de los métodos Just In Time – JIT, en español “Justo a Tiempo”, y Kanban, en español “Tarjetas Visuales” (Shingo, 1993, pp.172-175).

Este libro retoma, específicamente, los aportes de Shingo con su sistema poka-yoke y su concepto control de calidad cero, como parte de los factores de calidad que considera dentro del capítulo 3, por lo cual se desarrollan con mayor profundidad, en adelante.

### 2.4.1 Sistema poka-yoke

Se trata de un sistema que evita la aparición de errores. El primer sistema que Shingo propuso lo llamó baka-yoke, que traduce “a prueba de tontos”, pero este nombre recibió muchas críticas por la susceptibilidad que generó en las personas al ser tratadas como faltas o escasas de entendimiento, por lo cual, renombró su método como poka-yoke, que significa “a prueba de errores”. Se trata de un sistema que utiliza métodos o dispositivos que evitan los errores, al advertirlos antes de su ocurrencia (Coffey, 2004, p.41). Aunque en Occidente se han popularizado para temas de seguridad, en Japón se popularizaron para temas de calidad.

En su libro “Análisis y Mejoramiento de la Calidad”, Escalante (2006) hace un abordaje de los poka-yoke en el cual explica, en primera instancia, el significado de los términos en japonés y su traducción al español y al inglés. Poka, significa error inadvertido; yoke,

significa a prueba de; por tanto, poka-yoke significa a prueba de errores inadvertidos. Al inglés se traduce como mistake-proofing y, en todo caso, su razón de ser es prevenir la aparición de defectos.

De acuerdo con Shingo (citado por Escalante, 2006, p.391), el defecto es consecuencia del error: “El ser humano es propenso a cometer errores no importa cuán concentrado esté en su trabajo o cuán firmemente se proponga no cometerlos. Es prácticamente imposible no cometer errores”. Dado lo anterior, Shingo (citado por Escalante), propuso:

*Como los defectos a consecuencia de los errores son generalmente defectos (en manufactura), y como los errores son muy difíciles o imposibles de eliminar, es preferible, en lugar de presionar excesivamente al trabajador a que no cometa errores, evitar que un error tenga consecuencias, es decir, cortar el nexo o relación entre un error y su consecuencia (efecto o defecto). (Escalante, 2006, p.391)*

Evans y Lindsay explican que poka-yoke es una forma de enfocar la producción, de modo que el uso de métodos o dispositivos automáticos dentro de un proceso evite la ocurrencia de errores humanos simples (Evans & Lindsay, 2008).

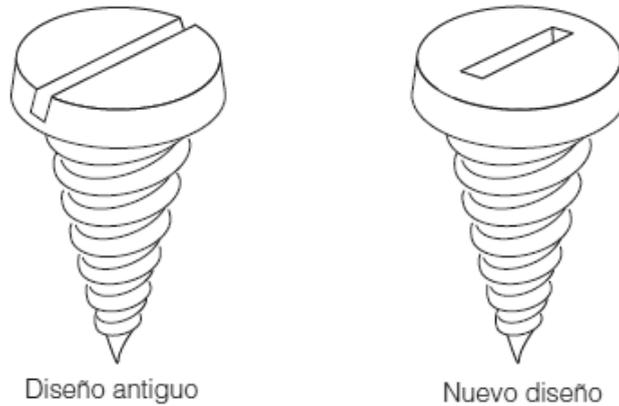
Sea como método o con el uso de un dispositivo automático, un poka-yoke debe tener dos aspectos: primero, capacidad de predecir o reconocer cuando un defecto va a ocurrir y advertir de ello; segundo, capacidad de detectar o reconocer cuando el defecto ya ocurrió y detener el proceso.

Como método, poka-yoke puede consistir en prácticas como las siguientes (Evans & Lindsay, 2008):

- Que un operario inspeccione lo que entrega la operación anterior antes de continuar y revisar su propio trabajo antes de entregarlo a la siguiente operación.
- Que se entreguen en un contenedor todos los elementos que deben unirse en una estación, de modo que si al final de la operación sobra alguno, el operario sepa que el ensamble quedó incompleto.

Como dispositivo, poka-yoke puede consistir en el diseño o uso de elementos como los siguientes (Evans & Lindsay, 2008):

- Diseño de tornillo que evite que el destornillador se resbale, como lo muestra la Figura 7.



**Figura 7.** Ejemplo poka-yoke para rediseño de tornillo (Evans & Lindsay, 2008, p.680).

- Rodillo que humedezca a otro cuando se tienen láminas que requieren unirse con pegante, de modo que este no se pegue al rodillo.
- Interruptores que adviertan de la mala colocación de un montaje en una máquina.
- Contador en un taladro y un dispositivo en el mismo, que advierta cuando se retire el taladro antes de culminar el número requerido de orificios.
- Advertencia de un software antes de cerrarse sin grabar un documento.
- Un puerto de un cable que solo pueda conectarse en una dirección.

#### 2.4.2 Control de calidad cero

Shingo planteó que los métodos y dispositivos que utiliza un sistema poka-yoke evitan que los defectos aparezcan y, por tanto, no es necesaria la medición, lo cual dio origen a su concepto de Control de calidad cero:

*Shingo hacía una distinción entre "errores" y "defectos", y consideraba que los primeros eran los desencadenantes de los últimos. Admitía que la gente comete fallos, por una diversidad de motivos, pero que esos errores no tienen que producir necesariamente defectos. Su método es interrumpir el proceso siempre que se produzca cualquier error y determinar la fuente del error mediante una inspección, para luego evitar que se vuelva a producir. De hecho, los dispositivos poka-yoke ofrecen una inspección del 100%, pero durante el proceso, cuando la prevención es posible y no después de que se producía el*

*defecto, cuando ya es demasiado tarde. Utilizando el concepto de Shingo del Control de Calidad Cero, se puede conseguir un nivel de cero defectos. (Torres, s.f.)*

Shingo (citado por Escalante) planteó que existen tres tipos de inspección:

- En la fuente, cuando es posible evitar que un error se vuelva un defecto.
- Informativa, cuando es posible reducir defectos gracias al uso de sistemas estadísticos como CEP y muestreo de aceptación, sistemas de verificación sucesiva, donde cada estación examina lo realizado en la operación anterior y sistemas de auto-verificación donde el operario verifica su propio trabajo antes de entregarlo a la siguiente operación.
- De juicio, cuando los defectos se descubren al final de la línea de producción.

Así, entendiendo los tipos de inspección y la importancia de reaccionar a tiempo ante el error, es posible comprender el concepto de control de calidad cero y el sistema requerido para ello.

“El Sistema Control de Calidad Cero, SCCC” propuesto por Shingo (citado por Escalante) tiene tres componentes:

- Inspeccionar en fuente, usando poka-yokes que impidan que el error se convierta en defecto.
- Inspeccionar 100% usando poka-yokes que permitan observar el total de las piezas producidas.
- Minimizar el tiempo de reacción al error, ubicando los poka-yokes en la fuente.

Gracias a sus sistemas poka-yoke y su concepto control de calidad cero, la utilización del Control Estadístico de Procesos, CEP, pierde sentido. El método estadístico permite detectar y medir los defectos y, por ende, reaccionar ante ellos y lograr así la mejora, pero el mismo se basa en el uso de técnicas de muestreo; por el contrario, el sistema poka-yoke, gracias a sus dispositivos, permiten inspecciones 100%, que evitan la aparición de defectos y por lo cual medir es innecesario, se mejora la eficacia de los procesos y se reducen considerablemente los costos (Cabrera, s.f., pp.125-126).

## 2.5 ISHIKAWA (1915 – 1989)

Kaoru Ishikawa es conocido como el padre del análisis científico de las causas de problemas en procesos industriales y como el precursor del concepto de calidad total; enfatizó en que el éxito de la calidad japonés se debía a la característica vertical de su sociedad, a no haber sido influenciados por el Taylorismo y a sus diferencias de escritura, educación y religión.

Definió el control de calidad como “desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad” (Baca, Cruz, Cristóbal, Baca, Gutierrez, Pacheco, Rivera, Rivera, y Obregón, 2014, p. 105) y enfatizó en la importancia de enfocar la calidad a toda la empresa, no solamente al producto, incluyendo la postventa.

Ishikawa (citado por Evans & Lindsay, 2008, p.112), creía que “la calidad empieza con el cliente y, por tanto, entender sus necesidades es la base para mejorar (...) las quejas se deben buscar activamente”. En su obra, los autores citan los elementos centrales de la filosofía de Ishikawa:

1. La calidad empieza con la educación y termina con la educación
2. El primer paso en la calidad es conocer las necesidades del cliente
3. El estado ideal del control de calidad ocurre cuando la inspección ya no es necesaria
4. Eliminar el origen y no los síntomas
5. El control de calidad es responsabilidad de los trabajadores y las divisiones
6. No confundir los medios con los objetivos
7. Poner la calidad en primer lugar y las ganancias a largo plazo
8. La mercadotecnia es la entrada y la salida de la calidad
9. Los directivos no deben demostrar enojo cuando sus subordinados presentan los hechos
10. Noventa y cinco por ciento de los problemas en una empresa se solucionan con herramientas sencillas de análisis y solución de problemas
11. Los datos sin información de difusión (es decir, la variabilidad) son falsos. (Evans & Lindsay, 2008, p.112)

Ishikawa retomó las ideas de Deming y agregó dos pasos al ciclo PHVA, proponiendo que fueran: determinar las metas y objetivos, determinar los métodos necesarios para alcanzar dichas metas, dar la capacitación necesaria, implementar la metodología, verificar los efectos

de dicha implementación y tomar las acciones apropiadas (Baca y otros, 2014, p.105). Consideraba además que cuando una organización implementaba el control de la calidad, lograba reducir los precios de venta de sus productos, gracias a que había mejorado su técnica de fabricación y por ende había bajado sus costos de producción (Zarazua, 2005, p.121).

El autor hizo tres importantes aportes a la calidad, que mundialmente se han conocido como diagrama causa–efecto, círculos de calidad y 7 herramientas de calidad. Estas últimas, desarrolladas en compañía de Imai, son retomadas específicamente en este libro, como parte de los factores de calidad que considera dentro del capítulo 3, por lo cual se desarrollan con mayor profundidad, en adelante.

### 2.5.1 Diagrama Causa–Efecto

El diagrama causa–efecto, también conocido con el nombre de diagrama de espina de pescado o diagrama Ishikawa, permite visualizar de forma gráfica la forma como se presenta un problema, facilitando su análisis al entender las causas que lo originan y la relación que dichas causas tienen con el origen mismo del problema o con los efectos que produce. Las causas de un problema pueden ser independientes entre ellas o estar relacionadas (Zarazua, 2005, p.120), lo cual es más fácilmente evidenciable con el uso de este tipo de diagrama.

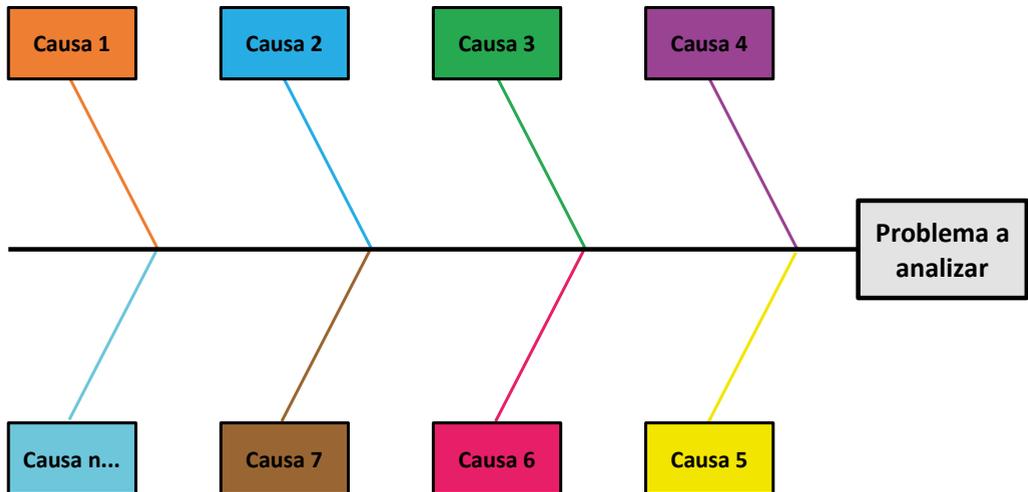
Respecto al diagrama causa–efecto, Evans y Lindsay afirman que es “un método gráfico sencillo para presentar una cadena de causas y efectos, así como clasificar las causas y organizar las relaciones entre las variables” (Evans & Lindsay, 2008, p.674).

Por su parte, Heizer y Render lo consideran como una herramienta para identificar problemas de calidad y puntos de inspección, lo que lo hace una técnica esquemática que permite descubrir lugares con problemas de calidad (Heizer & Render, 2009).

El diagrama se compone de cuatro elementos, que se muestran en la Figura 8 y se explican a continuación:

- Un rectángulo ubicado en el extremo derecho del diagrama, en el cual se escribe el problema que desea analizarse.
- Una línea principal que parte del rectángulo, que constituye la “columna del pez”, de la cual se desprenden unas ramificaciones.
- Una serie de ramificaciones principales, dirigidas hacia la columna del pez, donde se ubican las que se consideran son las causas principales de problema analizado.

- Una serie de ramificaciones secundarias, dirigidas hacia cada una de las ramificaciones principales, donde se ubican las causas secundarias que se consideran generan las causas primarias.



**Figura 8.** Diagrama causa-efecto genérico (Elaboración propia).

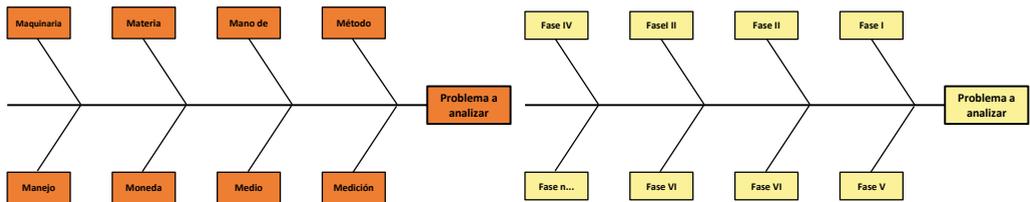
El diagrama así construido permite identificar causas probables de un problema, con el fin de que se recopilen y analicen datos alrededor de lo que muestra el diagrama.

Escalante (2006, p.78) define el diagrama causa-efecto como un “esquema que muestra las posibles causas clasificadas de un problema”. De acuerdo con el autor, cuando es usado dentro de un proceso productivo, las causas pueden relacionarse con los factores que normalmente intervienen en un proceso de fabricación, conocidos como multi Ms, por sus siglas originales en inglés y su respectiva traducción al español:

- Método (Method): procedimientos requeridos en el proceso.
- Mano de Obra (Man): personal que realiza la actividad.
- Materia Prima (Material): materia prima, material e insumos que son transformados.
- Maquinaria (Machine): máquinas y equipos usados para producir.
- Medición (Measurement): instrumentos que evalúan los procesos y los productos.
- Medio Ambiente (Milieu): condiciones del lugar o puesto de trabajo.
- Moneda (Money): recursos monetarios requeridos para el proceso.
- Manejo (Management): direccionamiento dado al proceso.

El autor aclara que si no es posible trabajar con estos factores, el diagrama causa–efecto debe hacerse con base en las fases que sigue el proceso.

La Figura 9 muestra cómo se vería un diagrama causa–efecto con base en lo propuesto por Escalante, tanto si se analizan los factores que intervienen en el proceso productivo como si se analizan sus fases seguidas.



**Figura 9.** Diagrama causa–efecto con factores y fases (Elaboración propia).

### 2.5.2 Círculos de calidad

Los círculos de calidad son equipos humanos de trabajo que enfocan sus actividades y esfuerzos a la mejora de la calidad, principalmente. Deming (1989, p.381) los definió como “la forma natural que tienen los japoneses de trabajar juntos”. Fueron formalizados por Ishikawa y tuvieron un éxito rotundo en Japón, gracias a los éxitos que alcanzaron:

*El Dr. Ishikawa atrajo a la atención de los directivos la importancia de usar a tope los éxitos conseguidos por los grupos pequeños de trabajadores al eliminar las causas especiales de la variabilidad del producto, y en la mejora del sistema, por medio de los cambios en las herramientas, cambios en el diseño, y en la programación e incluso en las alteraciones del proceso de producción. (Deming, 1989, p.381)*

Sin embargo y según lo explica el autor, al trasladar el concepto de los círculos de calidad a Estados Unidos, sufrieron unas variantes que llevaron a su fracaso.

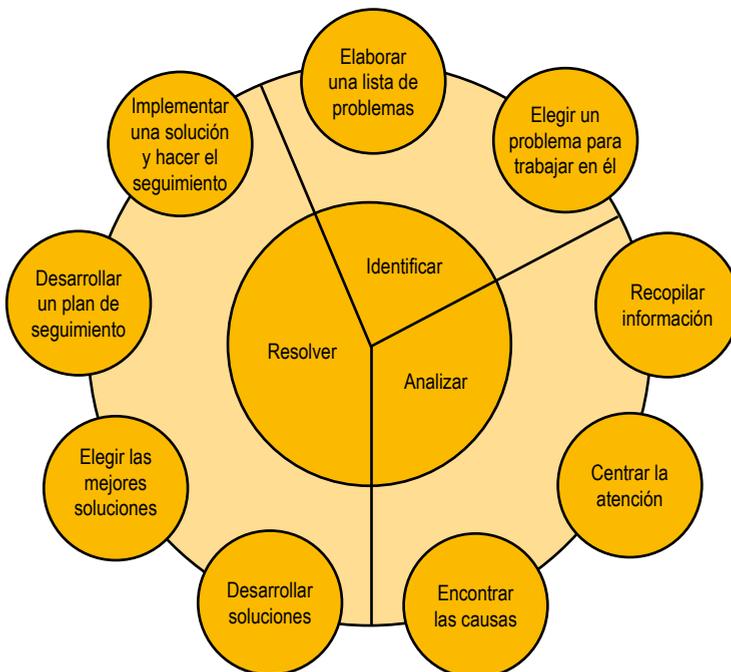
En Japón, el círculo de calidad estaba constituido por un grupo informal de trabajadores, su director o coordinador era un consejero o consultor, el tema de reunión y la forma en que se ejecutaba se decidía entre los miembros del grupo; ésta podía ejecutarse durante las horas de trabajo, durante el tiempo de descanso o después de la jornada laboral y cualquier beneficio que lograra un círculo de calidad era repartido entre todos los empleados, pues

consideraban que el reconocimiento de los logros del grupo sobrepasaba al beneficio económico del individuo.

En Estados Unidos, el círculo de calidad se constituyó como un staff formal de la empresa, su director designaba ayudantes para los mismos, así como la implicación y participación que cada empleado debía tener en el círculo, proponía el tema o proyecto a tratar y la forma de hacerlo; la reunión del círculo se hacía durante horas de trabajo y si había lugar a una recompensa económica por una sugerencia, la recibía solo la persona que la propusiera, todo lo cual terminó por desintegrar los círculos de calidad.

Evans y Lindsay analizan lo sucedido con los círculos de calidad en Estados Unidos como la consecuencia que trajo el hecho de que los directivos de las compañías estadounidenses no comprendieron cómo debían implementarse, ni los supieron manejar adecuadamente, pero que a pesar de ello muchas empresas los tienen, constituyéndose en una forma de trabajo en equipo y de administración participativa que ha sentado las bases para otros equipos más progresistas (Evans & Lindsay, 2008).

Los autores explican que las funciones básicas de los círculos de calidad siguen siendo la identificación, análisis y resolución de problemas asociados a la calidad y a la productividad. La Figura 10 ilustra las funciones que ejecuta un círculo de calidad.



**Figura 10.** Funciones de los círculos de calidad (Evans & Lindsay, 2008, p.279).

### 2.5.3 Siete herramientas de calidad

Las siete herramientas de calidad son un conjunto de prácticas sobre las cuales Ishikawa enfatizaba las técnicas estadísticas, algunas ya existentes en su época y otras de su propia autoría, porque facilitan la administración de la calidad.

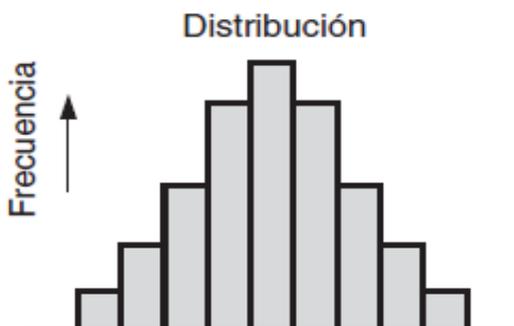
Escalante (2006, p.54) las define como “herramientas para la solución de problemas” y las presenta como se muestra a continuación:

- Gráfico de control (propuesto por Shewhart)
- Gráfica de Pareto (conceptualizado para calidad por Juran)
- Diagrama causa–efecto (de su propia autoría)
- Histograma
- Diagrama de dispersión
- Análisis de Estratificación
- Hoja de control

El gráfico de control y la gráfica de Pareto, han sido expuestos en los apartes dedicados en este libro a Shewhart y Juran, respectivamente; el diagrama causa–efecto está incluido en el actual apartado, dedicado a el maestro Ishikawa.

El histograma es una herramienta estadística que, de manera gráfica, permite observar el intervalo de valores de una medición y la frecuencia con la que cada valor ocurre; muestra qué datos ocurren más frecuentemente y cómo varían. Así, es posible conocer la forma de la distribución seguida por los datos medidos, lo cual ayuda a entender las causas de variación en los mismos (Heizer & Render, 2009).

En el eje horizontal de un histograma se ubican los valores que se han medido, presentados por intervalos o clases; en su eje vertical, se ubica la frecuencia de ocurrencia de esos valores medidos. La Figura 11 ilustra un histograma genérico.



**Figura 11.** Histograma genérico (Heizer & Render, 2009, p.204).

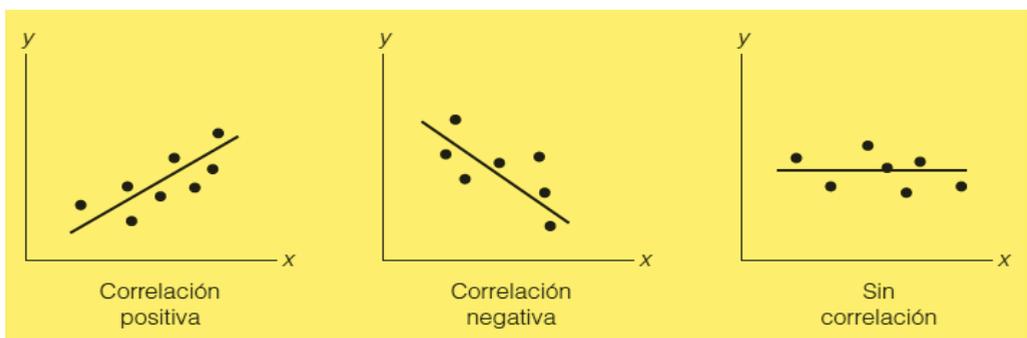
Al usar el histograma como herramienta de interpretación de datos, es importante tener en cuenta algunas precauciones como las siguientes:

- Si bien es cierto que a través de una tabla de recolección no es posible evidenciar el patrón seguido por los datos obtenidos y sí es posible a través de un histograma, dichos datos deben ser representativos y suficientes para que el análisis sea confiable, por lo cual se recomienda tener al menos 50 observaciones para elaborar un histograma y complementar su análisis con otros estudios (Evans & Lindsay, 2008).
- El histograma ofrece la historia acumulada de unos datos dentro de un proceso, pero no ofrece información que permita concluir si dicho proceso es estable y cuál es su capacidad; para ello se requiere el uso de los gráficos de control (Deming, 1989).

El diagrama de dispersión es una herramienta estadística que, de manera gráfica, permite interpretar relaciones importantes entre variables o concluir la no existencia de dichas relaciones.

En su eje horizontal se ubican los valores correspondientes a la variable que se considera independiente y que comúnmente se representa como (x); en su eje vertical, se ubican los valores correspondientes a la variable que se considera dependiente y que comúnmente se representa como (y).

Si tras graficar los valores correspondientes a los datos medidos se concluye que la correlación es positiva, significa que al aumentar la variable “x”, aumenta la variable “y”. Si se concluye que la correlación es negativa, al aumentar la variable “x”, disminuye la variable “y”; si se concluye que la correlación es cero, significa que las variables no están relacionadas entre sí. La Figura 12 ilustra tres diagramas de dispersión genéricos, para cada caso de correlación.



**Figura 12.** Diagrama de dispersión genérico (Evans & Lindsay, 2008, p.677).

De acuerdo con Evans y Lindsay, el diagrama causa–efecto de Ishikawa puede llevarse a un diagrama de dispersión, pues las variables que el diagrama de dispersión presenta son las posibles causas y efectos mostradas por el diagrama causa–efecto (Evans & Lindsay, 2008).

Al respecto, es importante tener presente que la combinación de herramientas de calidad permite la profundización de los análisis y el mejor entendimiento de las situaciones que estén siendo analizadas.

El análisis de estratificación es una técnica que permite clasificar información en estratos o clases de acuerdo con sus orígenes, de modo que se racionalice su análisis (Escalante, 2006). Respecto a los estratos o clases en los que la información puede clasificarse, Escalante (2006, p.88) plantea como ejemplos “la maquinaria (modelo, tipo), los operarios (capacitación, turno, sexo), la materia prima (proveedor), la medición (gage, inspector) y las condiciones de operación (humedad, temperatura), entre otros”.

La estratificación facilita el análisis y el conteo de la frecuencia con que ocurre un hecho, dentro de una de las clasificaciones hecha. Las Figuras 13, 14 y 15 muestran ejemplos de estratificaciones planteadas por Escalante.

Tipo de defectoF	recuencia
Defecto 11	38
Defecto 24	9
Defecto 33	2
Defecto 41	8
Defecto 58	

Dentro de una planta de producción, en una misma área que cuente con varias máquinas idénticas, se puede clasificar la información por tipo de defectos y número de veces que ocurre cada defecto.

**Figura 13.** Defectos en toda la planta (Adaptada de Escalante, 2006).

Área	Tipo de defecto más frecuente
AA	Defecto 3
BB	Defecto 4
CC	Defecto 3
DD	Defecto 2
EE	Defecto 2

En diferentes áreas de una misma organización, se puede estratificar la información por tipo de defectos ocurridos.

**Figura 14.** Defectos por área (Adaptada de Escalante, 2006).

Máquina	Tipo de defecto más frecuente
1D	efecto 3
2D	efecto 1
3D	efecto 1
4D	efecto 2
5D	efecto 3

En diferentes tipos de máquinas, se puede clasificar la información de acuerdo al tipo de defectos ocurrido por cada una de ellas.

**Figura 15.** Defectos por máquina (Adaptada de Escalante, 2006).



La hoja de control, también llamada hoja de verificación, es un formato diseñado para estandarizar y agilizar la recolección, presentación y análisis de la información (Escalante, 2006). El registro en una hoja de control debe hacerse de tal manera que los patrones existentes en la información sean fácilmente evidenciables a medida que se van tomando los datos, de modo que ayuden en análisis posteriores (Heizer & Render, 2009).

Según Escalante, los formatos para una hoja de control se pueden diseñar dependiendo del tipo de información que requiera controlarse o verificarse: “Para visualizar distribuciones, para registrar el total de defectos por cada tipo, para localizar defectos, para estratificar el registro del número de unidades defectuosas y para verificar procedimientos” (Escalante, 2006, p.93). Las Figuras 16, 17, 18, 19 y 20 muestran ejemplos de hojas de control planteadas por Escalante.

LIE			LSE		
			X		
			X		
			X		
	X	X	X		
	X	X	X	X	
	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X
7,26 - 7,30	7,31 - 7,35	7,36 - 7,40	7,41 - 7,45	7,46 - 7,50	7,51 - 7,55

Figura 16. Hoja de control para visualizar distribuciones (Adaptada de Escalante, 2006).

ÁREA DE XXXXXXXXX	
Fecha: XXXXXXXX	Analista: XXXXXXXXXXXXX
Defectos	Cantidad
Defecto 1	7
Defecto 2	12
Defecto 3	0
Defecto 4	9
Defecto 5	1

Figura 17. Hoja de control para registrar el total de defectos por cada tipo (Adaptada de Escalante, 2006).

Semana: X a X de XXXXX de XXXX		Día				
Máquina	Operario	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie
AAAA	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	4	5	7	5	3
	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	8	3	6	6	1
	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	3	7	2	9	5
BBBB	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	5	2	4	8	9
	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	9	1	9	5	7
	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	5	5	8	6	2

Figura 18. Hoja de control para estratificar el registro del número de unidades defectuosas (Adaptada de Escalante, 2006).

LOCALIZACIÓN DE DEFECTOS	
Analista: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	Fecha: XXXXXXXX
Convenciones: Rebaba ● Grieta x Poro ⊗	Comentarios:

Figura 19. Hoja de control para localizar defectos (Adaptada de Escalante, 2006).

PROCEDIMIENTO: XXXXXXXXXXXXXXXX	
<b>PASO A SEGUIR</b>	
Encendido	<input type="checkbox"/>
Pre calentamiento	<input type="checkbox"/>
Purga de material	<input type="checkbox"/>
Poner tapa	<input type="checkbox"/>
Apriete final	<input type="checkbox"/>

Figura 20. Hoja de control para verificar procedimientos (Adaptada de Escalante, 2006).

## 2.6 FEIGENBAUM (1922 – 2014)

Armand Vallin Feigenbaum es conocido por ser el creador del concepto Control de la Calidad Total, que más adelante se difundiría como Administración de la Calidad Total o TQM, por sus siglas en inglés, que hacen referencia al Total Quality Management y por el concepto de los costos de la Fábrica Oculta.

Sus ideas fueron influenciadas por sus colegas de General Electric, Ralph E. Wareham, Harry A. Hopf y Lawrence D. Miles y otros teóricos que lo precedieron o contemporáneos a él, como Leon Bass, Charles A. Bicking, Paul C. Clifford, Simon Collier, W. Edwards Deming, George D. Edwards, C. Eugene Fisher, Joseph M. Juran, E. Jack Lancaster, Sebastian B. Littauer, Julius Y. McClure, Thomas C. McDermott, Ellis R. Ott, William R. Pabst, Leslie Simon y Walter A. Shewhart (Watson, 2015).

El enfoque ingenieril de sus ideas le permitió observar que la calidad de un producto y un servicio es afectada directamente por nueve factores que denominó las nueve letras M (9M), por sus siglas en inglés: Mercado (market), dinero (money), administración (management), personal (men), motivación (motivation), material (material), máquinas y mecanización (machines and mechanization), métodos de información modernos (modern information methods) y requisitos de montaje de los productos (mounting product requirements) (Evans & Lindsay, 2008).

Estos autores resumen la filosofía de Feigenbaum en tres pasos necesarios para la calidad:

- Liderazgo de calidad
- Tecnología de calidad moderna
- Compromiso de la organización

Además, enfatizan la importancia del liderazgo para la calidad:

*Los buenos líderes deben “conducir hacia la calidad”; es decir, deben asegurar que se adopten los principios de calidad total y se usen en sus organizaciones. Algunas acciones podrían incluir lo siguiente:*

- *Reunir datos antes de expresar una opinión y respaldar las acciones con hechos.*
- *Estar consciente de que la calidad está definida por los clientes y actuar sobre esa conciencia.*
- *Usar herramientas de calidad cuando sea apropiado y hacer visibles sus beneficios para todos.*
- *Esperar e impulsar el compromiso y la responsabilidad en la organización. (Evans & Lindsay, 2008, p.217)*

Los autores citan, además, una frase célebre de Feigenbaum, que denota la orientación de su filosofía hacia la calidad: “la pasión está en vivir y trabajar con el ánimo de una ética de calidad, lo que significa tener una profunda creencia de que lo que se hace para mejorar la calidad mejora todo en la organización” (Evans & Lindsay, 2008, p.217).

Este libro retoma, específicamente, los aportes de Feigenbaum con su Control de la Calidad Total, TQM, y fábrica oculta, como parte de las guías de calidad que considera dentro del capítulo 3.

### 2.6.1 Control de la calidad total

Las concepciones y teorías de Feigenbaum se caracterizan por retomar dos escuelas de pensamiento sobre la calidad.

De una parte, la escuela de los métodos estadísticos para lograr la calidad de los productos; de otra, la escuela de las relaciones humanas para la mejora del proceso y las prácticas administrativas. Esto le permitió concebir un sistema que combina filosofías de la calidad con herramientas para la calidad, logrando una fusión que se conocería como control de la calidad total (Watson, 2015).

En su artículo, denominado “Líder de la Calidad Total”, Watson retoma y explica el significado de las palabras “Control”, “Calidad” y “Total”, como se explica a continuación:

- Control: “a process for delegating responsibility and authority for a management activity while retaining the means of assuring satisfactory results” (proceso para delegar responsabilidad y autoridad de la gestión de las actividades, manteniendo los medios que aseguren resultados satisfactorios) (Watson, 2015, p.20). Feigenbaum propuso cuatro pasos para desarrollar el control en un proceso: establecer normas, evaluar la conformidad, actuar cuando sea necesario y planificar las mejoras (Watson, 2015).
- Calidad: “Quality is, in its essence, a way of managing the organization” (Calidad es, en esencia, una forma de gestionar la organización) (Watson, 2015, p.20). El enfoque central de su ideología fue sistematizado y resumido en diez conceptos alrededor de la calidad (Watson, 2015), los cuales son retomados en la obra “Análisis y Mejoramiento de la Calidad”, de Escalante:

1. *La calidad es un proceso global en la compañía*
2. *Calidad es lo que el consumidor dice*
3. *Calidad y costos son una suma y no una resta*
4. *La calidad requiere compromiso individual y de grupo*
5. *Calidad es una forma de administrar*
6. *La calidad y la innovación son mutuamente dependientes*
7. *La calidad es una ética*
8. *La calidad requiere mejoramiento continuo*
9. *Calidad es el camino con menor inversión de capital y de mejor costo efectivo para elevar la productividad*
10. *La calidad requiere de un sistema total relacionado con clientes y proveedores. (Escalante, 2006, pp.33-34)*

- Total: “(...) the total engagement of an organization is required to ensure quality (...) everyone, at all layers of the organizational structure and across all functional areas, has a duty to ensure the quality of his or her work and the outcome provided to external customers” (se requiere el compromiso total de una organización para asegurar la calidad (...) cada uno, en los diferentes niveles de la estructura organizacional y a través de todas las áreas funcionales, tiene el deber de asegurar la calidad de su trabajo y de los resultados entregados a los clientes externos) (Watson, 2015, p.20). La calidad no debe delegarse únicamente a los trabajadores de la planta de producción, sino que es un deber que parte de las directivas y llega hasta las operaciones de mercadeo, ingeniería, producción, relaciones industriales, finanzas y servicios (Watson, 2015).

### 2.6.2 Fábrica oculta

Feigenbaum consideró que tener resultados consistentes en el control de la calidad total requiere liderazgo y énfasis en los costos de calidad y en aquellos que denominó de la “hidden plant”, que en español significa fábrica oculta. La fábrica oculta genera desperdicios y costos de calidad, asociados a la corrección de errores en producción debidos a errores en la orden de producción que no cumplen con lo que el cliente ha solicitado, tiempo perdido en busca de partes perdidas o reemplazo de partes con mala calidad y actividades para compensar incumplimientos en la programación (Watson, 2015).

Feigenbaum hizo un especial énfasis en el término fábrica oculta, para describir la capacidad de las plantas de producción que se desperdicia, en general, a causa de la mala calidad. Adicionalmente, concibió la calidad como una herramienta estratégica para el negocio, que debe involucrar a todos los funcionarios de la empresa y propuso medirla y evaluarla a través de los costos de la calidad (Evans & Lindsay, 2008). En su libro “Administración y Control de la Calidad”, los autores describen a Feigenbaum como uno de los filósofos de calidad más destacados y plantean la definición que hizo del concepto control de calidad total como:

*(...) un sistema eficaz para integrar el desarrollo de la calidad, el mantenimiento de la calidad y los esfuerzos de mejora de la calidad de los diversos grupos en una organización, a fin de permitir la producción y el servicio en los niveles más económicos posibles que den lugar a la total satisfacción del cliente. (Evans & Lindsay, 2008, p.111)*

## 2.7 TAGUCHI (1924 – 2012)

Genichi Taguchi fue el creador del método Taguchi. El autor es conocido por su concepto de diseño robusto y como el creador de la metodología denominada Ingeniería de Calidad; propuso el rediseño de procesos productivos y productos para controlar los costos de producción.

Taguchi atacó los problemas de calidad desde el diseño del producto y no como reacción a la aparición de los mismos durante la producción (Evans & Lindsay, 2008).

En la obra “Principios de Administración de Operaciones”, los autores afirman que “la mayoría de los problemas de calidad son resultado del diseño deficiente del producto y del proceso” (Heizer & Render, 2009, p.203); por esta razón, abordan los conceptos propuestos por Taguchi conocidos como calidad robusta, función de pérdida de calidad y calidad orientada hacia una meta, que tratan la mejora de la calidad tanto del proceso productivo como del producto:

*Los productos con calidad robusta son aquellos que se producen de manera uniforme y consistente en condiciones adversas de manufactura y ambientales (...) La función de pérdida de calidad identifica todos los costos relacionados con la mala calidad y muestra la forma en que aumentan cuando el producto se aleja de ser exactamente lo que el cliente desea (...) La calidad orientada hacia una meta es una filosofía de mejora continua para llevar el producto exactamente hasta la meta. (Heizer & Render, 2009, p.203)*

Taguchi proponía la eliminación de los efectos producidos por las condiciones adversas a la fabricación en vez de la eliminación de las causas que producían dichos efectos, es decir, argumentaba que con frecuencia es más económico eliminar causas y fabricar un producto robusto, para que variaciones pequeñas en materiales y procesos no afecten en gran medida la calidad del producto obtenido (Heizer & Render, 2009). Su enfoque a la ingeniería de diseño del producto hacía insensible el producto a la variabilidad del proceso manufacturero, logrando con ello que los límites de especificación perdieran relevancia; complementando lo anterior, propuso algunas técnicas para el diseño experimental que permitían identificar las variables críticas de diseño, minimizando los efectos de factores no controlables en la variación de productos (Evans & Lindsay, 2008).

Sin embargo, a pesar de que el método y el enfoque Taguchi ha sido implementado en muchas empresas con eficacia, también ha recibido críticas y ha sido fuertemente debatido:

*El diseño de experimentos clásico puede requerir de varias corridas de prueba, que a menudo resultan costosas, para calcular los efectos principales y las interacciones (...) el doctor Genichi Taguchi, propuso otro factor para el DOE. Desarrolló un enfoque de diseño de experimentos que se concentra en los factores críticos al tiempo que resta importancia a sus interacciones, lo que reduce en gran medida el número de experimentos requeridos. Sin embargo, el enfoque de Taguchi viola algunos principios tradicionales de la estadística y ha sido objeto de críticas por parte del gremio. Para abundar en las limitaciones de este enfoque, Taguchi introdujo cierta invalidez estadística y análisis equivocados ignorando los enfoques gráficos modernos para el análisis de datos y no recurrió a la aleatoriedad al realizar los experimentos. (Evans & Lindsay, 2008, p.570)*

Este libro retoma, específicamente, los aportes de Taguchi con su función de pérdida de calidad y calidad orientada hacia una meta, como parte de las guías de calidad que considera dentro del capítulo 3, por lo cual se desarrollan con mayor profundidad, en adelante.

### **2.7.1 Función de pérdida de calidad**

La función de pérdida de calidad relaciona todos los costos derivados de la mala calidad dentro y fuera de la organización: dentro de ella, asociados a inspección, reparación y desperdicio; fuera de ella, relacionados con insatisfacción del cliente, garantía y servicio, los cuales Taguchi describía como “costos para la sociedad”. A medida que el producto obtenido se aleja de lo que el cliente desea, aumentan dichos costos sociales; cuando la pérdida disminuye, mejor y más deseable es el producto; entre más se aleje el producto del valor meta, mayor es la pérdida (Heizer & Render, 2009).

Taguchi planteaba que la calidad bajo el concepto manufacturero del simple cumplimiento de especificaciones, tiene errores inherentes y es demasiado simplista (Evans & Lindsay, 2008; Heizer & Render, 2009). Según Evans y Lindsay (2008, p.113), el autor “midió la calidad como la variación respecto al valor objetivo de una especificación de diseño y luego convirtió esa variación en una “función de pérdida” económica que expresa el costo de la variación en términos monetarios”.

Si se quiere diseñar una tolerancia bajo un enfoque científico debería utilizarse el concepto de función de pérdida de Taguchi, de acuerdo con el cual no existe un punto fijo a partir del cual se separe la buena de la mala calidad. Por el contrario, es posible calcular la pérdida económica mediante una función cuadrática, “de modo que las mayores desviaciones de la meta corresponden a pérdidas cada vez más grandes” (Evans & Lindsay, 2008, p.618). La función cuadrática propuesta por Taguchi, es la siguiente:

$$L(x) = k(x-m)^2$$

L: Pérdida económica  
 k: Constante que representa el costo relacionado con cierta desviación de la meta  
 x: Valor real de la característica de calidad  
 m: Valor meta de calidad para producir el desempeño óptimo  
 (x-m): Desviación de la meta

La Figura 21 contrasta la perspectiva de calidad de Taguchi con la perspectiva de calidad tradicional.

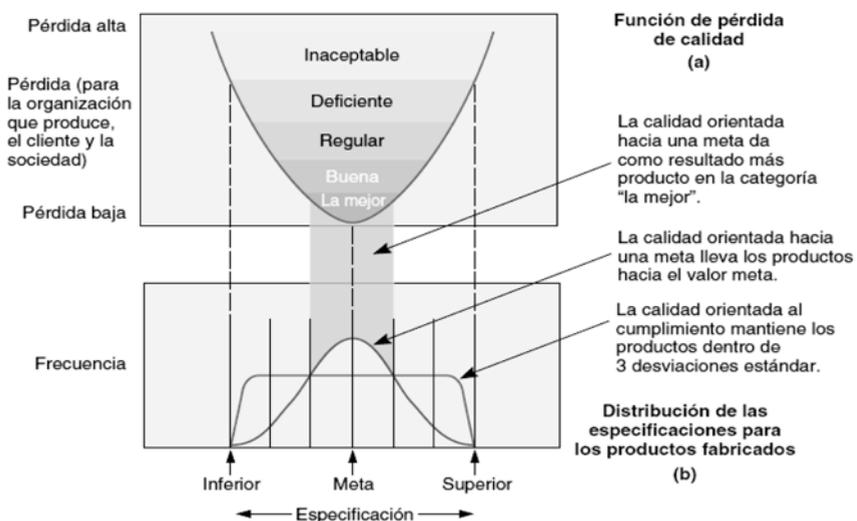


Figura 21. Calidad Taguchi versus Calidad Tradicional (Heizer & Render, 2009, p.203).

## 2.7.2 Calidad orientada hacia una meta

La calidad orientada hacia una meta es una filosofía de mejora continua:

*(...) la calidad orientada al simple cumplimiento acepta todos los productos que están dentro de los límites de tolerancia, produciendo más unidades que están lejos de la meta. Por lo tanto, la pérdida (costo) es mayor en términos de satisfacción del cliente y beneficios para la sociedad. Por otra parte, la calidad orientada hacia una meta busca mantener al producto en la especificación deseada, produciendo más (y mejores) unidades cercanas a la meta. La calidad orientada hacia una meta es una filosofía de mejora continua para llevar el producto exactamente hasta la meta. (Heizer & Render, 2009, p.203)*

El concepto de calidad orientada hacia una meta se complementa con la función de pérdida de Taguchi, dado que cuando la calidad de un producto se acerca a cualquiera de los límites de especificación aceptables, la pérdida económica es aún mayor (Heizer & Render, 2009).

## 2.8 CROSBY (1926 – 2001)

Philip Bayard Crosby es conocido por el planteamiento de la frase “hacerlo correctamente la primera vez” (Doing It Right the First Time, DIRFT), como respuesta a los empresarios estadounidenses enfrentados a la crisis de la calidad.

De acuerdo con Escalante (2006), el aporte más importante a la calidad de Crosby fue su programa Cero Errores, basado en catorce puntos, los cuales tienen el propósito de llegar a producir sin defectos:

1. Participación del director general
2. Participación en cascada
3. Indicadores de calidad
4. Evaluación del costo de la falta de calidad
5. Participación de todos los niveles
6. Solución de problemas
7. Planeación del día “cero defectos”
8. Capacitación de mandos inferiores
9. Celebración del día “cero defectos”

10. Establecimiento de metas de mejoramiento
11. Corrección de causas de error
12. Reconocimiento
13. Líderes en calidad
14. Empezando de nuevo

Evans y Lindsay afirman que la filosofía de Crosby aborda lo que él llamó “absolutos de la administración de calidad”, que implican cinco puntos básicos:

- 1) Calidad significa cumplimiento con los requisitos, no elegancia.
- 2) No existen los llamados problemas de calidad.
- 3) La economía de la calidad no existe; siempre es más barato hacer bien el trabajo desde la primera vez.
- 4) La única medida de desempeño es el costo de la calidad, que es el gasto derivado del no cumplimiento.
- 5) La única norma de desempeño es “cero defectos, CD”.

Pese a lo anterior, Deming y Juran resultarían fuertes críticos de sus conceptos, llegando incluso a señalar que era inútil e hipócrita exigirle a un obrero que produzca a la perfección, dado que la mayoría de las imperfecciones en productos y servicios son consecuencia de errores de diseño en los sistemas de fabricación que están fuera del alcance de los trabajadores (Evans & Lindsay, 2008).

Adicional a lo anterior, estos autores resaltan las diferencias y similitudes que el enfoque de Crosby tiene con el enfoque de Deming y Juran:

- Al contrario de lo planteado por Deming y Juran, el enfoque de Crosby consideraba que para cambiar la cultura de la organización era necesario recalcar en la conducta de las personas y en el uso de procesos administrativos, en lugar de utilizar herramientas basadas en técnicas estadísticas.
- Coincidió con Juran que era necesario adaptarse a las estructuras organizacionales ya existentes y no cambiarlas, como lo proponía Deming.
- Coincidió con Deming en que el área de calidad no es responsable de las causas que originan las fallas de calidad.

- Su concepto de que la calidad no cuesta presenta similitud con el concepto de reacción en cadena, propuesto por Deming.
- Coincidió con Juran en usar los costos de la calidad como medida del desempeño.

Esta investigación retoma, específicamente, el aporte de Crosby con su idea de que la calidad no es la que le cuesta a la organización, sino las acciones que deben ejecutarse como consecuencia de no haber hecho las cosas bien desde la primera vez, como parte de las guías de calidad que considera dentro del capítulo 3, y que dentro de este libro se denomina calidad gratis.

### 2.8.1 Calidad gratis

Crosby consideraba que no existía ninguna razón para los errores o los defectos de un bien o servicio y que a pesar de que tradicionalmente una organización es capaz de establecer cuánto le cuesta mejorar la calidad, no le es tan sencillo establecer cuánto le cuesta la mala calidad, pues este último costo debería incluir todo aquello que implica no hacer bien las cosas desde la primera vez. El autor llegó a afirmar que la calidad es gratis y que “Lo que cuesta dinero son las cosas sin calidad todas las acciones que implican no hacerlo bien desde la primera vez” (Heizer & Render, 2009, p.196).

Evans y Lindsay retoman la filosofía de Crosby enfatizando en el modo como una organización puede incluso llegar a mejorar sus utilidades en la medida en que garantiza la calidad. Al respecto, Crosby (citado por Evans & Lindsay) afirmó:

*La calidad no sólo es gratis, es un productor de ganancias honesto en todo sentido. Cada centavo que usted no gaste en hacer las cosas mal, hacerlas otra vez o hacerlas en lugar de otras contribuye con medio centavo a las utilidades. En estos días en que “nadie sabe lo que pasará con nuestro negocio en el futuro”, no quedan muchas formas de mejorar las utilidades. Si se concentra en garantizar la calidad, es probable que aumente sus utilidades en una cantidad igual a 5 a 10 por ciento de sus ventas. Es mucho dinero gratuito. (Evans & Lindsay, 2008, p.27)*

### 2.9 IMAI (1930 - )

Masaaki Imai es el autor de la filosofía japonesa conocida como kaizen. Evans y Lindsay, en su obra “Administración y Control de la Calidad”, describen kaizen como una filosofía que abarca todas las actividades enfocadas a la mejora de la calidad de la empresa (Evans & Lindsay, 2008).

A diferencia de su colega Ishikawa, quien pensaba que el éxito japonés se debía a su tipo de sociedad, escritura, educación, religión y no haber sido influenciados por el Taylorismo, y a pesar de que Imai no se propuso contradecir las explicaciones de la administración japonesa dadas por otros autores, no creía que el éxito japonés estuviera ligado especialmente a su cultura:

*Muchas prácticas administrativas japonesas sólo tienen éxito porque son buenas prácticas administrativas. Este éxito tiene poco que ver con los factores culturales. Y la falta de influencia cultural significa que estas prácticas pueden ser –y son– empleadas con el mismo éxito en otra parte. Así como en Japón existen compañías destinadas a caer por el borde del camino del progreso, así los EUA tienen compañías excelentes que han establecido nuevos estándares para la calidad del producto y servicio. La diferencia no es de nacionalidad. Es de mentalidad. (Imai, 2001, pp.31-32)*

Mientras diferentes teóricos occidentales a lo largo de la historia han propuesto sus propias versiones y modelos que lleven a las organizaciones a la mejora continua (Shewhart, por ejemplo, propuso el PHVA que más tarde Deming popularizaría en Japón, Feigenbaum desarrolló TQM o Control de la Calidad Total y Crosby defendió su creencia de cero defectos), los japoneses, gracias al aporte de Imai, han denominado kaizen a un “proceso continuo de mejora sin fin para el establecimiento y logro de metas cada vez más altas” (Heizer & Render, 2009, p.199). En oriente, no consideran versiones y modelos aislados para la mejora continua de las organizaciones sino que asimilan la mejora continua como un proceso que hace parte del día a día de las organizaciones desde el establecimiento de sus metas hasta el logro y la superación de las mismas.

El mismo Imai explica que kaizen es un concepto bajo el cual reunió y organizó filosofías, teorías y herramientas administrativas, desarrolladas y utilizadas en Japón y afirma que la diferencia más importante entre la concepción administrativa de oriente y occidente está dada por el hecho de que el kaizen japonés se orienta al proceso, mientras que el pensamiento occidental se orienta al resultado.

En una administración orientada a los resultados, se priorizan criterios como controles, desempeño, resultados, recompensas de tipo financiero y castigos; estos criterios pueden cuantificarse y evidenciarse a corto plazo. En una administración orientada al proceso se enfatizan criterios como el apoyo de la dirección a la mejora de la forma de realizar un trabajo, recompensas basadas en la disciplina, la administración del tiempo, las habilidades, la participación, los principios morales y la comunicación; estos criterios pueden evidenciarse a largo plazo (Imai, 2001).

Imai afirma que kaizen es “el concepto dominante que está detrás de una buena administración” (Imai, 2001, p.32) y, de acuerdo con él, significa mejoramiento a un nivel que involucre a directivos y demás funcionarios de una organización por igual, a través del mantenimiento y mejora de los estándares establecidos, siendo responsabilidad de la dirección el mejoramiento del estándar y de los demás funcionarios su mantenimiento.

Kaizen no aborda en sí mismo los conceptos de calidad o productividad, pues tal como lo afirmara Imai, se tienen tantas definiciones de estos conceptos como exponentes que los han definido; sin embargo, al ser kaizen un concepto de mejoramiento que resulta genérico a lo largo de toda una organización, resulta aplicable a cualquiera de sus procesos y en tanto estos procesos mejoren, lo harán también la calidad y la productividad:

*(...) la palabra calidad ha sido interpretada en muchas formas distintas y no existe acuerdo sobre lo que en la actualidad constituye la calidad. En su sentido más amplio, la calidad es algo que puede mejorarse. En este contexto, la calidad está asociada no sólo con los productos y servicios, sino también con la forma en que la gente trabaja, la forma en que las máquinas son operadas y la forma en que se trata con los sistemas y procedimientos. Incluye todos los aspectos del Comportamiento humano. Esta es la razón de que sea más útil hablar acerca de KAIZEN que respecto a calidad o productividad. (Imai, 2001, pp.45-46)*

Kaizen aborda la realidad de la existencia de problemas en las organizaciones y sus procesos y la necesidad de reconocerlos; así, con cada problema resuelto se logra un mejoramiento y, por ende, kaizen cobra sentido. Una vez lograda la mejora tras la resolución de problemas, es necesario garantizar su mantenimiento, por lo cual kaizen requiere estandarización.

Esta filosofía propone unas prácticas de origen japonés que la fundamentan y unas herramientas para la resolución de problemas y para la estandarización.

En cuanto a las herramientas, kaizen presenta una serie de técnicas clásicas para la resolución analítica de problemas que ha llamado “las siete herramientas estadísticas”, las cuales Imai desarrolló en compañía con Ishikawa, y otras que resultan útiles en situaciones administrativas en las cuales no se dispone de todos los datos requeridos para la resolución de los problemas, a las que ha llamado “las nuevas siete”.

La Figura 22 muestra las herramientas en mención.

Imai ejemplifica las prácticas propuestas por kaizen a través de la comparación con una sombrilla, que cubre dichas prácticas.

La Figura 23 muestra el símil hecho por el autor, dentro de la cual aparecen los conceptos círculos de control de calidad y control total de la calidad, conectados fuertemente con esta filosofía.

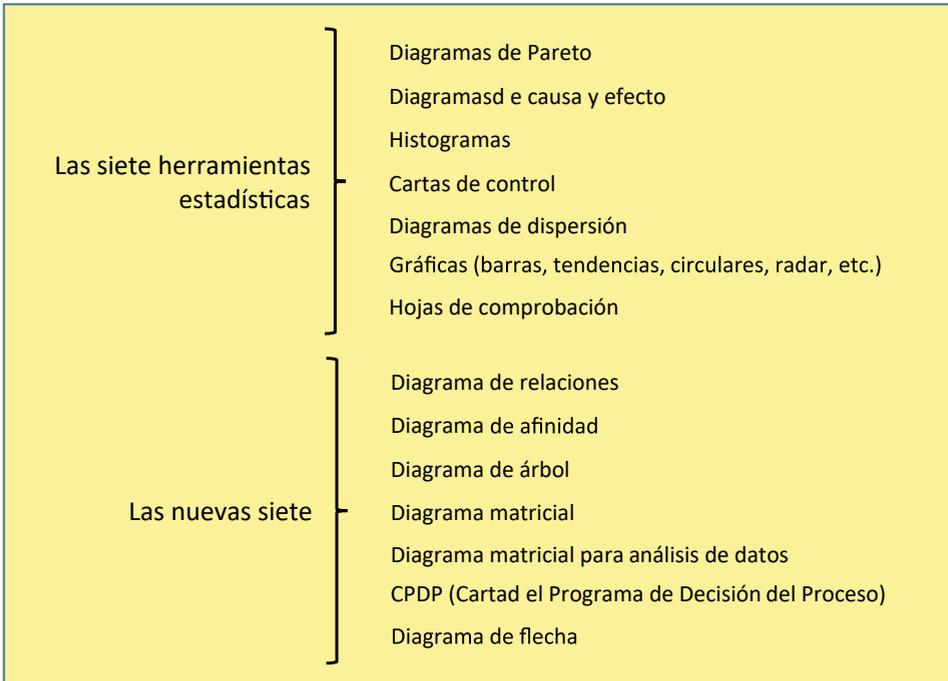


Figura 22. Herramientas Kaizen (Adaptada de Imai, 2001, pp. 287-288).



Figura 23. Sombrilla Kaizen (Imai, 2001, p.40).

Este libro retoma, específicamente, los aportes de Imai con sus siete herramientas de calidad, como parte de los factores de calidad que considera dentro del capítulo 3, por lo cual se desarrollan con mayor profundidad, en adelante.

### 2.9.1 Siete herramientas de calidad

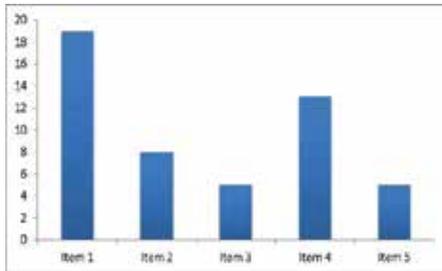
Las herramientas de calidad que Imai llamó “diagramas de Pareto” y “cartas de control”, fueron abordadas en los apartes de Juran (1904 - 2008) y Shewhart (1891 - 1967) respectivamente, con los nombres de “gráfica de Pareto” y “gráficos de control”.

Las herramientas de calidad que Imai denominó “diagramas de causa y efecto”, “histogramas”, “diagramas de dispersión” y “hojas de comprobación”, son abordadas en el aparte de Ishikawa (1915 - 1989), con los nombres de “diagrama causa-efecto”, “histograma”, “diagrama de dispersión” y “hoja de control”, respectivamente.

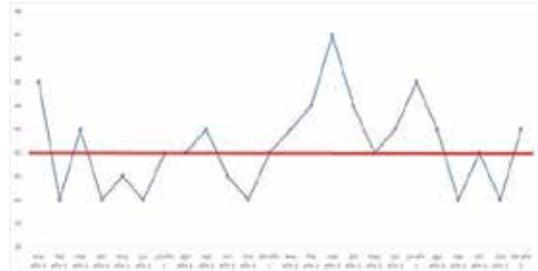
Por tanto, a continuación se aborda la herramienta que Imai denominó “gráficas”, dentro de las cuales nombra específicamente las gráficas de barras, las lineales, las circulares y las de radar. La Figura 24 ilustra ejemplos de las gráficas en mención.

Imai explica la utilidad que cada una de estas gráficas conlleva al momento de enfrentar la resolución analítica de un problema:

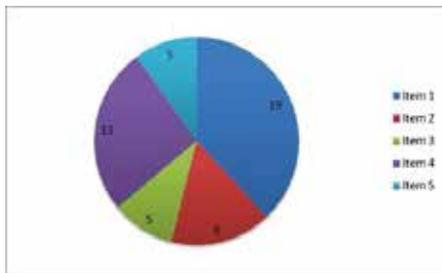
*Las gráficas de barras comparan los valores por medio de barras paralelas, en tanto que las gráficas lineales se utilizan para mostrar variaciones durante un periodo. Las gráficas circulares indican la división por categorías de valores y las cartas de radar ayudan al análisis de conceptos previamente evaluados. (Imai, 2001, p.288)*



a) Gráfica de barras



b) Gráfica lineal



c) Gráfica circular



d) Gráfica de radar

**Figura 24.** Gráficas genéricas (Elaboración propia).

## 2.10 HARRY (1952 - 2017)

Mikel J. Harry es reconocido como el pionero de Six Sigma (Seis Sigma). Durante su trabajo en Motorola hizo importantes análisis y propuestas que pronto darían origen a una de las más valiosas herramientas y filosofías de la calidad de la actualidad; aunque six sigma nace en Motorola, fue popularizada por AlliedSignal y General Electric.

Harry descubrió que las variaciones de un proceso generan insatisfacción al cliente y hacen que dicho proceso disminuya su capacidad de cumplir requisitos; además de medir la variación de los procesos, se concentró en aplicar una serie de herramientas sobre aquellos que producían la mayor variación, buscando reducirla y controlarla (Eckes, 2004), naciendo así el Seis Sigma que hoy por hoy es entendido tanto como filosofía, herramienta, método, métrica, meta, estrategia, disciplina, entre otras.

En su obra “Análisis y Mejoramiento de la Calidad”, Escalante (2006, p. 41) afirma que Seis Sigma puede entenderse como una métrica, como una filosofía de trabajo o como una meta:

- *Como métrica, Seis-Sigma representa una manera de medir el desempeño de un proceso en cuanto a su nivel de productos o servicios fuera de especificación.*
- *Como filosofía de trabajo, Seis-Sigma significa mejoramiento continuo de procesos y productos apoyado en la aplicación de la metodología Seis-Sigma, la cual incluye principalmente el uso de herramientas estadísticas además de otras de apoyo.*
- *Como meta, un proceso con nivel de calidad Seis-Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos (0.00189 ppm, proceso centrado, y hasta 3.4 ppm, proceso con un descentrado de 1.5). (Escalante, 2006, p.41)*

Por su parte, Heizer y Render, conciben Seis Sigma desde un sentido estadístico, como un programa y como un sistema integral que reúne una estrategia, una disciplina y unas herramientas:

*En un sentido estadístico, describe un proceso, producto o servicio con una capacidad extremadamente alta (precisión de 99.9997%) (...) Se trata de un programa diseñado para reducir los defectos a fin de ayudar a disminuir costos, ahorrar tiempo y mejorar la satisfacción del cliente (...) Es un sistema integral una estrategia, una disciplina, y un conjunto de herramientas para lograr y sostener el éxito en los negocios:*

- *Es una estrategia porque se enfoca en la satisfacción total del cliente.*
- *Es una disciplina porque sigue el modelo formal de mejora Seis Sigma conocido por sus siglas en inglés como DMAIC.*
- *Es un conjunto de siete herramientas (...): hojas de verificación, diagramas de dispersión, diagramas de causa y efecto, gráficas de Pareto, diagramas de flujo, histogramas y control estadístico del proceso. (Heizer & Render, 2009, pp. 199-200)*

Evans y Lindsay afirman que Seis Sigma centraliza esfuerzos para el mejoramiento de productos, procesos y servicios; adicionalmente, consideran que “Six Sigma aterriza los principios fundamentales de la calidad total que han estado “orbitando” por varias décadas” (Evans & Lindsay, 2008, p.xix), puesto que presenta una metodología sistemática para aplicar un sistema de calidad total. Sobre Seis Sigma, los autores además afirman:

*Six Sigma se puede describir como un enfoque de mejora del negocio que busca encontrar y eliminar las causas de los defectos y errores en los procesos de manufactura y servicios, concentrándose en los resultados que son decisivos para los clientes y una clara recuperación financiera para la organización. (Evans & Lindsay, 2008, p.134)*

Eckes afirma que una de sus grandes diferencias frente a otras herramientas y métodos de calidad es que Seis Sigma inicia en la Gerencia de la compañía, antes de trabajar con los empleados, requiriendo de la misma la identificación y medida del desempeño  $\delta$  (Sigma) de los procesos más importantes de la organización, es decir, de aquellos procesos que tienen más impacto sobre el logro de los objetivos organizacionales y, dentro de ellos, identificar aquellos con menor rendimiento. A partir de lo anterior, ya intervienen los demás trabajadores de la compañía, quienes iniciarán las mejoras requeridas gracias a la aplicación de las herramientas y conceptos que Seis Sigma propone (Eckes, 2004).

Este libro retoma, específicamente, los aportes que Harry hizo con Seis Sigma, de la forma como lo conciben los autores Heizer y Render, es decir, en sentido estadístico y como estrategia, como parte de las guías de calidad que considera dentro del capítulo 3; así mismo, como disciplina y conjunto de herramientas, como parte de los factores de calidad que considera dentro del capítulo en mención. El conjunto de herramientas a las que hacen mención Heizer y Render, han sido abordadas en apartes anteriores de este libro. Seis Sigma como disciplina se explica a continuación.

### **2.10.1 Seis Sigma como disciplina**

De acuerdo con Heizer y Render, Seis Sigma como disciplina requiere la aplicación de un modelo formal de 5 pasos denominados DMAIC, por sus siglas en inglés: Define, Measure, Analyze, Improve, Control o DMAMC; por sus siglas en español: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

Aquello pretendido por cada uno de los 5 pasos del DMAMC se explica a continuación, con base en lo planteado por Eckes:

- Definir: se establece el equipo de trabajo, los requisitos de los clientes y se entiende el proceso que se está abordando.
- Medir: se calcula el nivel  $\delta$  del proceso.
- Analizar: se determinan las causas raíz del mal desempeño  $\delta$  del proceso analizado.
- Mejorar: se proponen las soluciones de mejora del desempeño  $\delta$ .
- Controlar: se implementan herramientas que mantengan el nuevo desempeño  $\delta$  del proceso ya mejorado.

Al respecto, en la obra “The Lean Six Sigma Pocket”, los autores afirman: “These phases lead a team logically from defining a problem through implementing solutions linked to underlying causes, and establishing best practices to make sure the solutions stay in place” (estas fases conducen al equipo de manera lógica, desde la definición de un problema, a través de la implementación de soluciones vinculadas a las causas subyacentes y hasta el establecimiento de mejores prácticas que aseguren la solución in situ) (George, Rowlands, Price & Maxey, 2005, p.1).

## **2.11 OTRAS HERRAMIENTAS DE CALIDAD**

Existen otras herramientas de calidad que cobran vital importancia para efectos del fin que busca este libro, las cuales se vienen manejando en organizaciones a nivel mundial y cuyos aportes a la calidad han sido trascendentales y de gran impacto para la misma, como lo han sido el Muestreo Estadístico, la Inspección por Muestreo de Aceptación, el Análisis de Regresión, la Trazabilidad, los Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad y el Aseguramiento Metrológico, todas las cuales hacen parte de los factores de calidad que se consideran dentro del capítulo 3 de este libro, por lo cual se desarrollan con mayor profundidad en adelante.

### **2.11.1 Muestreo estadístico**

El muestreo estadístico es una técnica que permite elegir una muestra dentro de una población con el fin de que, al estudiarla, se puedan inferir sus conclusiones sobre la población.

Dentro de una organización, puede aceptarse como población el conjunto de mediciones hechas al interior de sus procesos, cualesquiera que estos sean, las cuales surgen o se establecen con el ánimo de conocer y controlar la forma cómo el proceso de producción de bienes y/o servicios y el producto final obtenido o servicio final prestado se están comportando. Cuando se habla de calidad se busca inspeccionar procesos, productos y/o servicios para determinar si cumplen con unos estándares establecidos o deseados.

En muchas ocasiones, no es posible hacer inspecciones a la totalidad de los lotes fabricados, ni a la totalidad de los servicios prestados, ni es posible recolectar la totalidad de las mediciones que en todo momento un proceso puede arrojar. Cuando esto sucede, el muestreo estadístico cobra vital importancia, en tanto que permite inferir lo que sucede con la población con base en una parte pequeña de ella que se denomina muestra.

La estadística es la ciencia que se encarga de la recopilación, organización, procesamiento, análisis, interpretación y presentación de los datos; el muestreo estadístico es la parte de la misma que se encarga de tomar muestras confiables que permitan conclusiones confiables de la población de datos examinados. La confiabilidad de la inferencia sobre la población depende de la confiabilidad de la información contenida en la muestra (Scheaffer, Mendenhall & Ott, 1986).

De acuerdo con Scheaffer, Mendenhall, y Ott, dentro del muestreo estadístico se tienen cuatro tipos de muestreo y con ellos cuatro tipos de muestra. Para el primer tipo, citan:

*Si un tamaño de muestra  $n$  es seleccionado de una población de tamaño  $N$  de tal manera que cada muestra posible de tamaño  $n$  tiene la misma probabilidad de ser seleccionada, el procedimiento de muestreo se denomina muestreo irrestricto aleatorio. A la muestra así obtenida se le llama muestra irrestricta aleatoria. (Scheaffer, Mendenhall & Ott, 1986, p.40)*

Para el segundo tipo, citan:

*Una muestra aleatoria estratificada es la obtenida mediante la separación de los elementos de la población en grupos que no presenten traslapes, llamados estratos, y la selección posterior de una muestra irrestricta aleatoria simple de cada estrato. (Scheaffer, Mendenhall & Ott, 1986, p.78)*

Para el tercer tipo, citan:

*Una muestra obtenida al seleccionar aleatoriamente un elemento de los primeros  $k$  elementos en el marco y después cada  $k$ -ésimo elemento se denomina muestra sistemática de 1-en- $k$ . (Scheaffer, Mendenhall & Ott, 1986, p.168)*

Y para el cuarto tipo, citan:

*Una muestra por conglomerados es una muestra aleatoria en la cual cada unidad de muestreo es una colección, o conglomerado, de elementos. (Scheaffer, Mendenhall & Ott, 1986, p.196)*

### 2.11.2 Inspección por Muestreo de aceptación

La inspección por muestreo de aceptación consiste en el uso de unas tablas preestablecidas que orientan respecto a la aceptabilidad de los lotes de productos comprados o fabricados. Estas tablas permiten la ejecución de lo que en calidad se denomina inspección por muestreo de aceptación, cuyo propósito es verificar que el fabricante entrega una calidad igual o superior a la establecida de común acuerdo con el cliente, de modo que este último reciba una calidad aceptable. Esto significa que si el fabricante aplica los procedimientos de muestreo recomendados por las diferentes normas de muestreo de aceptación, le estaría garantizando a su cliente un nivel de calidad aceptable de acuerdo con lo acordado entre las partes.

La inspección por muestreo de aceptación nació con las tablas de inspección por muestreo, propuestas por Harold French Dodge, 1893 – 1976, a quien la American Society for Quality, ASQ, (Sociedad Americana de la Calidad), ha reconocido como uno de los principales arquitectos de la ciencia del control estadístico de la calidad. “He is universally known for his work in originating acceptance sampling plans for putting inspection operations on a

scientific basis in terms of controllable risks” (Él es conocido universalmente por su trabajo en los planes de muestreo por aceptación, que dio a las operaciones de inspección una base científica en términos de riesgos controlables) (ASQ, s.f.).

De acuerdo con la ASQ, el mayor legado de Dodge fue el desarrollo que hizo de las tablas de inspección por muestreo, junto con Harry G. Romig, las cuales fueron publicadas en 1940 y más tarde se conocerían como las normas militares, Militar Standard o MIL-STD, muy utilizadas durante la segunda guerra mundial.

Las Militar Standard, desarrolladas por Dodge, fueron la MIL-STD-105 para muestreo de aceptación por atributos y MIL-STD 414 para muestreo de aceptación por variables, pero durante los años 90 fueron reemplazadas por sus equivalentes ANSI/ASQ Z1.4 y ANSI/ASQ Z1.9 respectivamente. Asimismo, existen sus equivalentes serie ISO 2859 para atributos e ISO 3951 o ISO 8423 para variables.

La inspección por muestreo de aceptación se aplica dependiendo si las características a controlar son variables o son atributos.

En la inspección por variables se examina una característica medible y se reporta su valor; la decisión de aceptación o rechazo con relación al lote, se toma con base en cálculos matemáticos asociados a medidas de promedio y variabilidad de las mediciones. El tamaño de muestra requerido es menor que el requerido en una inspección por atributos y muestra de mejor manera la incidencia de la media y la variabilidad en el proceso.

En la inspección por atributos se examina una característica y se clasifica como "conforme" o "no conforme"; la decisión de aceptación o rechazo con relación al lote, se toma contando el número de características no conformes halladas en la muestra aleatoria. El tamaño de muestra requerido es mayor que en inspección por variables.

Su desventaja frente al anterior tipo de inspección radica en que no es claro frente a la incidencia de la media y la variabilidad en el proceso. Sin embargo, su principal ventaja obedece a que a pesar de requerir muestras más grandes y por ende ser un muestreo más costoso, es un método más sólido al no estar sujeto a supuestos relacionados con la curva de distribución, lo que a su vez lo hace más sencillo de usar, adicional al hecho de que los métodos “pasa - no pasa” son más rápidos y menos exigentes en cuanto a las habilidades que se requieren del inspector para hacer mediciones. Por lo anterior, los fabricantes han preferido el uso de métodos de inspección por atributos.

Las normas de la serie ISO 2859 son los estándares internacionales propuestos por la International Organization for Standardization, más conocida como ISO, para el manejo de la inspección por atributos.

La serie ISO 2859 consta de varias partes, bajo el título general de “Procedimientos de Muestreo para Inspección por Atributos. XXXXX”, donde la continuación del título referido como XXXXX corresponde a estándares diferentes dentro de la serie, como se explica a continuación:

- ISO 2859-1: Esquemas de muestreo determinados por el nivel aceptable de calidad para inspección lote a lote.*
- ISO 2859-2: Planes de muestreo determinados por la calidad límite (CL) para la inspección de un lote aislado.*
- ISO 2859-3: Procedimientos de muestreo de lotes intermitentes.*
- ISO 2859-4: Procedimientos para la evaluación de los niveles de calidad establecidos.*
- ISO 2859-5: Sistema de planes de muestreo secuencial determinados por el NAC para inspección lote a lote.*
- ISO 2859-10: Introducción a la serie de normas ISO 2859 sobre muestreo por atributos. (ICONTEC, s.f.)*

### **2.11.3 Análisis de regresión**

La relación existente entre dos o más variables permite a las organizaciones, en muchas ocasiones, entender el contexto en el que se desenvuelven sus procesos, lo cual les facilita la toma de decisiones.

Esta herramienta permite analizar la relación existente entre las variables que condicionan un proceso; la variable que se va a predecir se denomina “variable dependiente” y aquellas que se usan para predecir a la variable dependiente se les denominan “variables independientes”.

El análisis de regresión es un procedimiento estadístico que permite obtener una ecuación matemática que indica cuál es la relación entre las variables en estudio.

Cuando en el análisis que se hace para obtener la ecuación solo intervienen una variable independiente, se está hablando de un análisis de regresión simple, el cual relaciona las variables que condicionan un proceso a través de una línea recta. Cuando en el análisis intervienen dos o más variables independientes, para explicar el comportamiento de la variable dependiente, se está hablando de un análisis de regresión múltiple, el cual relaciona las variables que condicionan un proceso a través de curvas (Anderson, Sweeney, & Williams, 2008).

La ecuación modelo que se obtiene luego de un análisis de regresión simple, es del tipo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

Donde  $y$  es la variable dependiente que quiere predecirse,  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son los parámetros del modelo,  $x$  corresponde a la variable independiente con la que se ayudará a predecir  $y$ , y  $\epsilon$  corresponde a una variable aleatoria llamada término del error, el cual está asociado con la variabilidad de  $y$  que no puede explicarse por la relación lineal entre  $x$  y  $y$ .

La ecuación modelo que se obtiene luego de un análisis de regresión múltiple es del tipo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon$$

Donde  $y$  es la variable dependiente que quiere predecirse,  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ , son los parámetros del modelo,  $x_1, x_2, \dots, x_p$ , corresponden a las variables independientes con las que se ayudará a predecir  $y$ , y  $\epsilon$  corresponde a una variable aleatoria llamada término del error, el cual está asociado con la variabilidad de  $y$  que no puede explicarse por la relación entre las variables  $x$  y  $y$ .

#### 2.11.4 Trazabilidad

De acuerdo con la Real Academia Española, RAE, el término trazabilidad ha sido adaptado del término en inglés *traceability*, donde *trace* significa rastrear o rastro y *ability* significa habilidad o capacidad. Recibe tres definiciones:

1. *Posibilidad de identificar el origen y las diferentes etapas de un proceso de producción y distribución de bienes de consumo.*
2. *Reflejo documental de la trazabilidad de un producto.*
3. *Propiedad de un resultado de medida que permite relacionarlo con una referencia superior mediante una cadena documentada de calibraciones. (RAE, 2017)*

Así, la trazabilidad es la capacidad que tiene una organización de reconstruir los hechos que dieron origen a un producto, servicio, medición o hecho en general; esta capacidad está dada por la ejecución de comparaciones sucesivas entre documentos, información, datos, instrumentos, patrones, etc.

Desde el punto de vista del proceso productivo de bienes y servicios, la trazabilidad se define como:

*Capacidad para seguir la historia, la aplicación o la localización de todo aquello que está bajo consideración (...) Al considerar un producto, la trazabilidad puede estar relacionada con: el origen de los materiales y las partes; la historia del procesamiento; la distribución y localización del producto después de su entrega. (ISO, 2005, p.14)*

Cuando se trata de instrumentos de medición, la trazabilidad metrológica se define como la “propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida” (BIPM, 2012, p.38).

Frente a la calidad, la trazabilidad toma especial importancia al constituirse en una práctica que permite conocer y hacer seguimiento a las actividades de inspección, control, aseguramiento y gestión de la calidad para los procesos de producción de bienes y servicios, así como hacer seguimiento a las actividades de aseguramiento metrológico de los instrumentos de medición, pudiendo detectar causas de fallas de proceso o errores humanos que impactan la calidad, la productividad y la competitividad de la empresa.

### 2.11.5 Estudios de repetibilidad y reproducibilidad

Un estudio de repetibilidad y reproducibilidad, más conocido como estudio R y R, es un método de análisis a través del cual se puede establecer si el sistema de medición utilizado por una compañía está influyendo en la variabilidad del proceso o variación del bien o servicio que se obtiene.

Si se quiere reducir la variación presente en un proceso, es necesario identificar las causas asignables que inciden en la misma, para contrarrestarlas en busca de darle estabilidad a dicho proceso. Una de las formas para estabilizar un proceso es neutralizar las variaciones asociadas al sistema de medición utilizado por la organización, para lo cual los estudios R y R son recomendados.

Gutiérrez y De la Vara acotan la importancia de los estudios R y R respecto a la variabilidad de los procesos en comparación con la calidad pretendida:

*En los estudios R&R se evalúa de modo experimental qué parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide. (Gutiérrez y De la Vara, 2009, p.284)*

Igualmente, cuando una organización cuenta con un laboratorio para la realización de ensayos o calibraciones, es necesario que se incluyan “procedimientos de control de la calidad para realizar el seguimiento de la validez de los ensayos y las calibraciones llevados a cabo” (Llamosa, Meza y Botero, 2007, p.455).

Existen diferentes definiciones asociadas a R y R que permiten dar mayor comprensión al tema de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad.

Gutiérrez y De la Vara definen la repetibilidad y la reproducibilidad, respectivamente como “variación o error de las mediciones sucesivas sobre el mismo objeto con un instrumento bajo las mismas condiciones (un operador)” y “variabilidad o error de las mediciones sobre el mismo objeto con un instrumento bajo condiciones cambiantes (diferentes operadores)” (Gutiérrez y De la Vara, 2009, p.284).

El Sistema Interamericano de Metrología, SIM, a su vez, definen la repetibilidad de los resultados de mediciones como el “grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de un mismo mensurando, llevadas a cabo totalmente bajo las mismas condiciones de medición” (Marbán y Pellecer, 2002, p.41) y la reproducibilidad como el “grado de concordancia entre los resultados de las mediciones de un mismo mensurando, llevadas a cabo haciendo variar las condiciones de medición” (Marbán y Pellecer, 2002, p.41).

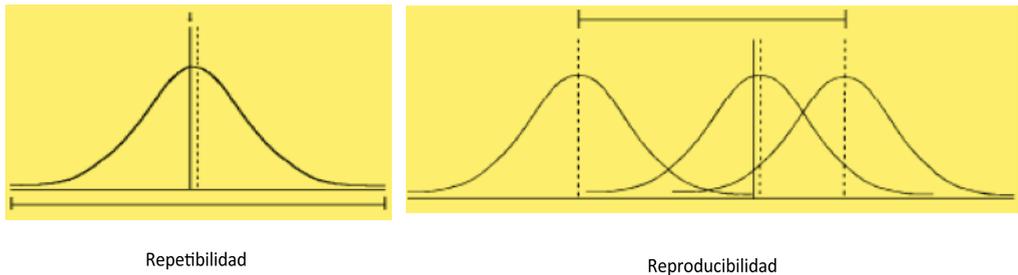
La Oficina Internacional de Pesas y Medidas, BIPM, ofrece cuatro definiciones asociadas a R y R, como se muestra a continuación:

- *Repetibilidad: Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad*
- *Condición de repetibilidad: Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un período corto de tiempo*
- *Reproducibilidad: Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de reproducibilidad*
- *Condición de reproducibilidad: Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares. (BIPM, 2012, pp.31-32)*

De acuerdo con Llamosa, Meza y Botero, la repetibilidad y la reproducibilidad pueden expresarse en función de la dispersión característica de los resultados de medición.

*La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados (...) Teniendo en cuenta que la reproducibilidad es la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian, ésta se puede expresar en forma cuantitativa, en función de las características de la dispersión de los resultados. (Llamosa, Meza y Botero, 2007, p.456)*

Las afirmaciones de los autores se ilustran a través de la Figura 25.



**Figura 25.** Representación gráfica de los conceptos R y R (Llamosa, Meza y Botero, 2007, p.456).

Gutiérrez y De la Vara hacen una diferenciación entre lo que es y lo que implica un estudio R y R corto de uno largo: en uno largo, es posible evaluar separadamente la repetibilidad de la reproducibilidad mientras que en el corto, se evalúa la variabilidad del sistema de medición de forma rápida sin que se separe la repetibilidad de la reproducibilidad (Gutiérrez y De la Vara, 2009).

Los estudios R y R resultan de alto impacto cuando se desea hacer uso de un método que identifique las causas de la variabilidad del proceso debida a las actividades propias de medición, inmersas en los procesos de obtención de bienes y servicios.

### 2.11.6 Aseguramiento metrológico

Son actividades o procedimientos que se ejecutan al interior de una organización con el fin de hacer seguimiento y controlar las mediciones que se ejecutan al interior de un proceso en el que se hace uso de instrumentos de medición.

Con el aseguramiento metrológico se pretende verificar que las mediciones y los resultados de los instrumentos de medición sean confiables dentro de los rangos de tolerancia especificados

para los procesos de fabricación y/o prestación de servicios que incluyan instrumentos de medición, o para los ensayos requeridos en inspección y control de la calidad.

Al igual que los estudios R y R, el aseguramiento metrológico forma parte de las prácticas requeridas en una organización para el seguimiento, control y mejora de los procesos de medición que involucran el uso de instrumentos de medición.

El aseguramiento metrológico implica la aplicación de la metrología, la cual se define como la “ciencia de las mediciones y sus aplicaciones” (BIPM, 2012, p.25) y del concepto de medir como “comparar con algo (unidad) que se toma como base de comparación” (Marbán y Pellecer, 2002, p.1).

De acuerdo con Evans y Lindsay, la metrología es necesaria debido a que cualquier medición está sujeta a error y, por ende, los datos que se obtengan de actividades de inspección y medición en la que se haga uso de instrumentos, no tendrá sentido si dichos instrumentos de medición no son confiables (Evans & Lindsay, 2008).

Para asegurar la confiabilidad de las mediciones arrojadas por un instrumento de medición, es necesario que sea calibrado frente a un patrón. Al respecto, Gutiérrez y De la Vara afirman:

*Mientras que patrón es el instrumento de medición o material destinado para definir, realizar, conservar o reproducir la unidad o magnitud que sirva como referencia. Por su parte, calibración es el conjunto de operaciones bajo condiciones específicas que sirven para establecer la relación entre las magnitudes indicadas por un instrumento de medición, con las magnitudes ya conocidas de un material o instrumento patrón. (Gutiérrez y De la Vara, 2009, p.283)*

Evans y Lindsay, por su parte, consideran la importancia de la metrología asociada a la calibración:

*Una de las funciones más importantes de la metrología es la calibración, o sea, la comparación de un dispositivo o sistema de medición que tiene relación conocida con las normas nacionales contra otro dispositivo o sistema cuya relación con las normas nacionales es desconocida. (Evans & Lindsay, 2008, p.628)*

El aseguramiento metrológico, por tanto, resulta de gran importancia como un método que garantice la confiabilidad de las mediciones de los instrumentos de medición, lo cual es vital para la inspección, el control, el aseguramiento y la gestión de la calidad de una organización.

## 2.12 CONCLUSIONES

A pesar de los múltiples aportes que los autores más representativos de la calidad han hecho a la fundamentación teórica de la misma, es importante destacar que “cualquiera que sea el enfoque o combinación de enfoques que una organización utilice, deberá ser el más razonable y el que funcione para esa organización” (Evans & Lindsay, 2008, p.479).

Aunque las teorías, metodologías, herramientas y/o técnicas de calidad esbozadas para cada autor presentado en esta parte del libro permiten el aumento de la productividad y, por ende, de la competitividad de la organización, ninguna de ellas representa un modelo estático de aplicación única para la organización sino que, por el contrario, se constituyen en alternativas que pueden ser aplicadas por la Organización, del modo que para ella resulte razonable y funcional.

Asimismo, las herramientas de calidad complementarias presentadas en este aparte del libro, constituyen material adicional que puede aplicarse en una organización y con ello contribuir a la mejora de la calidad de procesos y productos de la misma, teniendo en cuenta que ninguna de ellas por sí sola representa una solución única al problema de la calidad.