

## **HERRAMIENTAS MULTICRITERIO EN EL DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD.**

**Giraldo O´Reilly Crespo**

[giraldo@isch.edu.cu](mailto:giraldo@isch.edu.cu)

**Evelyn B. Álvarez Gutiérrez**

[ealvarez@isch.edu.cu](mailto:ealvarez@isch.edu.cu)

Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”

### **Resumen**

El Despliegue de la Función de Calidad o QFD (Quality Function Deployment) es una técnica para el diseño y mejoramiento de productos y servicios creada hace más de 4 décadas, ha sido aplicado en innumerables procesos aunque prevalece el basamento empírico en su aplicación. Este documento se exponen las principales características de la metodología QFD, así como explicar el método para su aplicación.

A la metodología básica se le han introducido algunos cambios consistentes en la adición de procedimientos matemáticos que apoyen o complementen los análisis tradicionales que resultaban netamente empíricos con el propósito de incrementar el basamento científico de dicha metodología y de reducir el tiempo a invertir en la aplicación de la misma.

Para el establecimiento de los valores de las características técnicas (CUANTOs) y los niveles de calidad asignados (NCA) se introducen expresiones de cálculo que incluyen los criterios de los clientes como variables inductoras, no obstante los valores de salida deben ser analizados para aprobarlas de acuerdo a las posibilidades técnicas y económicas de la organización para asumir el nuevo diseño. Las mismas pueden ser empleadas a través de todo el despliegue de matrices hasta el nivel de actividad. Las modificaciones realizadas a la metodología original supone el establecimiento de valores de diseño en relación directa con los requisitos de los clientes.

**Palabras claves:**

Calidad, despliegue, características, variables, clientes, metodología.

***Introducción:***

El Despliegue de la Función de Calidad o QFD (Quality Function Deployment) es una técnica para el diseño y mejoramiento de productos y servicios creada hace más de 4 décadas, ha sido aplicado en innumerables procesos aunque prevalece el basamento empírico en su aplicación. Este documento se exponen las principales características de la metodología QFD, así como explicar el método para su aplicación.

A la metodología básica se le han introducido algunos cambios consistentes en la adición de procedimientos matemáticos que apoyen o complementen los análisis tradicionales que resultaban netamente empíricos con el propósito de incrementar el basamento científico de dicha metodología y de reducir el tiempo a invertir en la aplicación de la misma.

***1. Planificación del Producto/Servicio.***

El centro de la planificación del producto o servicio en cuestión lo constituye la confección de la Casa de la Calidad, cuyo objetivo es traducir de manera adecuada los QUES obtenidos a COMOs, es decir: identificar las características de calidad capaces de satisfacer los deseos expresados por los clientes.

Para lograr dicha traducción son necesarios dos despliegues:

- 1- Despliegue de la Voz del cliente.
- 2- Despliegue de la calidad.

***1.1 Despliegue de la Voz del cliente.***

Para poder confeccionar la Casa de la Calidad es imprescindible determinar los QUES lo cual se consigue realizando 2 tipos de actividades.

- a) Obtener la voz del cliente (VOC: Voice of Customer).

### b) Analizar la VOC y extraer los posibles QUES.

La Voz del Cliente se obtiene mediante varias vías, tales como encuestas, resultados de quejas de los clientes, investigación de mercado, entrevistas individuales, grupos focales, datos de garantía y la observación directa de los clientes. El estudio debe abarcar tanto a la empresa que lo realiza como a los competidores más fuertes.

Griffin et al. (1992) concluyen en un estudio que con un número oscilante entre 10 y 20 entrevistas se puede obtener el 80% de los requerimientos de los clientes; en otro estudio de dichos autores (Griffin et al. 1993) se concluye que con un total de 30 entrevistas se obtuvo el 90% de los requerimientos de los clientes.

Una vez recogida la Voz del Cliente es necesario analizarla con cuidado ya que las expresiones de los clientes no constituyen requisitos como tal, sino ideas, preferencias, deseos e inquietudes que deben ser clasificados. No obstante es muy importante que se conserve el lenguaje del cliente, que no sea pre-traducida por los especialistas. Nótese que los QUES deben reflejar necesidades y/o deseos del cliente, no soluciones o aspectos técnicos ya que estos se manejan en los COMOs. Para llevar a cabo este análisis se emplean las tablas de caracterización (ver tabla 1) y el modelo de Kano.

#### **1.1.1 Tablas de Caracterización de la Voz del Cliente (VOCTs).**

Las Tablas de Caracterización de la Voz del Cliente ayudan a explorar el área de la calidad implícita, se utiliza generalmente para esclarecer requerimientos complejos de los clientes, particularmente en el contexto de uso del producto/servicio, el cual se describe a través del 5W1H (por sus siglas en inglés: Who, quién lo usa; What for, para qué lo usa; When, cuándo lo usa; Where, dónde lo usa; Why, por qué lo usa y How, cómo lo usa). Su objeto es depurar las palabras del cliente para extraer los requerimientos (necesidades elaboradas). Luego, dichas necesidades deben ser organizadas mediante diagramas de afinidad o de árbol antes de ser introducidos en la casa de la calidad, específicamente en la lista de características de calidad (QUES), en la cual solo se anotarán los QUES de más bajo nivel y los mismos deberán entenderse por todos los miembros del grupo de desarrollo del QFD. Los QUES

## Herramientas multicriterio en el Despliegue de la Función de Calidad

externos (provenientes de la Voz del Cliente) pueden completarse con los internos (relacionados con normativas, tecnología o políticas de la empresa).

<b>Tabla de categorización de la Voz del Cliente</b>			
<b>Voz del Cliente</b>	<b>Contexto de Uso (5W1H)</b>		<b>Necesidades elaboradas</b>
	Quién		
	Para qué		
	Cuándo		
	Dónde		
	Por qué		
	Cómo		

Tabla 1: Estructura de la VOTC

El autor propone que una vez que sean organizadas las necesidades del último nivel de especificación se lleven a una encuesta que se le aplicará a un determinado grupo de clientes, preferiblemente los mismos que ya habían sido encuestados, para que los mismos manifiesten su conformidad o no con los requerimientos definidos para el producto/servicio que se analiza.

Para el análisis estadístico se seleccionarán entre 6 y 9 encuestas, se recomienda contar con un número superior para lograr que todas las encuestas a procesar estén completamente respondidas.

Primeramente se confeccionará una matriz EGA (Entrada del Grupo de Análisis) para determinar las características de calidad definitivas (QEs), las filas de la matriz las conformarán los requerimientos reflejados en las encuestas y las columnas corresponderán a los expertos (clientes encuestados). Cada una de las intersecciones de la matriz contendrá el voto, a favor (X) o en contra ( ), del experto  $j$  ( $E_j$ ) con respecto a la característica  $i$  ( $C_i$ ), tal y como se observa en el ejemplo de la tabla 2.

## Herramientas multicriterio en el Despliegue de la Función de Calidad

		Expertos				
		E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>j</sub>	NA
Características	C <sub>1</sub>	X	X	X	X	
	C <sub>2</sub>	X		X	X	
	C <sub>3</sub>	X	X	X		
	C <sub>i</sub>		X	X		

Tabla 2: Ejemplo de Matriz EGA

En la columna NA (nivel de aceptación) se anotará la proporción de votos positivos para cada una de las características mediante la siguiente expresión de cálculo:

$$NA = \frac{VP}{VT}$$

Siendo VP: votos positivos

VT: votos totales

Los requerimientos definitivos serán aquellos que tengan un  $NA \geq 0,85$ , en lo adelante serán denominados características de calidad. En dependencia del rigor que se pretenda en el estudio se puede fijar un NA más bajo.

Para determinar la concordancia o no de los expertos se propone el uso del método W de Kendall, el cual se describe con más detalle en el epígrafe 5.1. En tal sentido se les pedirá a los clientes encuestados que ordenen las características de calidad en orden de preferencia.

Luego de seleccionados los QUES definitivos se les pedirá a los encuestados, que preferentemente deben ser los mismos clientes anteriormente encuestados, aunque pudiera hacerse con otro grupo de clientes, que le otorguen orden de importancia que le confieren a cada QUE usando la escala 1-5 (1: poco importante, 5: muy importante), así como el nivel de satisfacción que ellos perciben en cada uno de los acápites tanto de la empresa como de los 2 competidores más importantes, los cuales serán definidos previamente por la organización y estarán especificados en la encuesta.

Luego se formará una matriz semejante con los requisitos seleccionados y los expertos, las intersecciones entre ambas categorías reflejarán la importancia que cada experto ( $E_j$ ) le otorgará a la característica ( $C_i$ ). Se propone determinar el peso (importancia para los clientes) de cada QUE normalizando los valores otorgados por los clientes empleando uno de los métodos propuestos en el epígrafe 5.4.

Seguidamente se confeccionarán 3 matrices iguales en las que las características de calidad conformarán las filas y los expertos las columnas. Las intersecciones reflejarán el nivel de satisfacción (NS) percibido por los expertos en cada uno de los aspectos de la empresa en la primera y de los 2 competidores más importantes en las 2 restantes matrices. Para la obtención de los niveles de satisfacción definitivos a reflejar en la Casa de la Calidad se propone determinarlo mediante la moda (valor que con más frecuencia se repite), en caso de empate de

2 valores se tomará el mayor. En el ejemplo de la tabla 3 se puede apreciar con más claridad el procedimiento. En este paso se propone el empleo del método W de Kendall (ver epígrafe 5.1) para determinar la concordancia entre los expertos.

		Expertos				NS
		E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>j</sub>	
Características	R <sub>1</sub>	4	4	3	5	4
	R <sub>2</sub>	3	3	3	4	3
	R <sub>3</sub>	2	1	1	1	1
	R <sub>4</sub>	3	2	2	3	3
	R <sub>i</sub>	2	2	2	2	2

Tabla 3: Matriz de decisión del NS

## 1.2 Despliegue de la Calidad

### 1.2.1 Tabla de planificación de calidad.

El plan de calidad se basa, una vez identificados los QUES más importantes para satisfacer al cliente (se recomienda trabajar con listas de 30 a 50), en definir objetivos concretos para cada uno de ellos. Para ello se deben seguir los pasos siguientes:

- Anotar el grado de importancia otorgado por los clientes a cada QUE en la columna 1 (Importancia para el cliente). Ver anexo # 2.
- Anotar en la columna 3 (compañía) la percepción actual de los clientes sobre la compañía con relación a cada QUE, indicando el nivel de satisfacción empleando la escala de 1-5 (1 poco satisfecho y 5 muy satisfecho).
- Anotar en las columnas 4 y 5 (Empresa A y Empresa B respectivamente) la percepción actual de los clientes acerca de los dos competidores más importantes con relación a cada QUE, indicando igualmente el nivel de satisfacción usando la misma escala del paso anterior.

## Herramientas multicriterio en el Despliegue de la Función de Calidad

- Construir el gráfico de benchmarking competitivo representado gráficamente en la columna 7 los datos de los dos pasos anteriores.
- Establecer en la columna 8 (Plan de calidad) un objetivo de satisfacción empleando la escala 1-5 para cada QUE, teniendo en cuenta la importancia para el cliente y la situación respecto a los competidores. Se recomienda determinar dicho valor mediante la moda, habiendo solicitado previamente a cada uno de los expertos de la empresa que propusieran para cada caso el valor del plan de Calidad que ellos considerasen más apropiado. Igualmente se propone determinar la concordancia entre los expertos.
- Calcular y escribir en la columna 9 (Ratio de mejora) el esfuerzo de mejora para cada QUE, dividiendo el objetivo a conseguir (Columna 8) entre el nivel de satisfacción actual (Columna 3).

$$\text{Ratio Mejora} = \frac{\text{Plan de Calidad}}{\text{Nivel de Satisfacción}}$$

- Asignar argumento de venta (punto de venta) a cada uno de los QUES. Anotar en la columna 10 (Argumento de venta) según la siguiente clasificación:
  - 1,5 – Representa un fuerte argumento comercial.
  - 1,2 – Representa un argumento medio.
  - 1,0 – No representa un argumento comercial.

Los argumentos de venta fuertes (1,5) se asignan en alguno de los casos siguientes:

- Se tiene oportunidad competitiva ("*breakthrough*"), es decir, se tiene un nivel de satisfacción bajo y similar a la competencia en un aspecto importante a los ojos del cliente.
- El requisito es excitante o incide fuertemente en la calidad unidimensional.
- El requisito puede usarse como herramienta publicitaria.

Para determinar el tipo de argumento de venta que se otorgará a cada requisito se realizará el siguiente procedimiento:

1. Se confeccionarán varias planillas que serán entregadas a cada miembro del equipo. Las planillas contendrán una lista con las características de calidad y los miembros le otorgarán una puntuación a los tipos de argumentos para cada característica usando la siguiente escala:

- 3: se ajusta perfectamente
- 2: se ajusta en cierta medida
- 1: se ajusta muy poco
- 0: no se ajusta

2. Se recogerán las planillas y se realizará una tabla resumen para cada característica. Ver tabla 5.

3. El argumento de venta definitivo será determinado mediante el uso del método Borda. Este método se explica en detalle en el epígrafe 5.2.

- Calcular y escribir el peso absoluto de cada QUE en la columna 11 (Importancia absoluta), multiplicando los valores de las columnas 1, 9 y 10; importancia para el cliente, ratio de mejora y argumento de venta respectivamente.

$$\text{Importancia Absoluta QUE}_i = \text{Importancia para el cliente} * \text{Ratio de Mejora} * \text{Argumento de venta}$$

- Obtener el peso relativo de cada QUE, anotando en la columna 12 (Importancia relativa) el cociente de la división del valor de la columna 11 entre la sumatoria de todos los valores de dicha columna x 100.

$$\text{Importancia Relativa} = \frac{\text{Importancia Absoluta QUE}_i}{\sum_{i=1}^n \text{Importancia Absoluta QUE}_i} * 100$$

- Anotar además el orden de importancia de cada QUE en la columna 13 (Orden de importancia) asignando un orden correlativo a los pesos obtenidos. Para finalizar, representar en la columna 15 los pesos relativos de los QUEs mediante un Histograma.

### **1.2.2 Definición de las características de técnicas: Los COMOs.**

La tabla de planificación de la calidad nos indica que hay que mejorar, esto supone un avance en el proceso de diseño a la vez que surge la interrogante de cómo mejorarlo, entonces se hace necesario confeccionar la lista de características de calidad las que refieren elementos propios de la organización, indicadores medibles sobre los cuales la empresa puede influir y modificarlos.

Para cada QUE se debe definir al menos un COMO. Los COMOs surgen como respuesta a la pregunta: ¿Cómo medir el cumplimiento del requisito que se analiza?

Los COMOs deben ser medibles (controlables), no deben contener soluciones técnicas para no condicionar el diseño; no deben reflejar todas las características técnicas, solo aquellas capaces de satisfacer los QUEs. Deben también ser comprensibles por todos los miembros del grupo de desarrollo de QFD.

Teniendo ya definidos los QUEs se le entregará una hoja a cada miembro del equipo para que cada uno defina a su criterio las características técnicas que consideren capaces de satisfacer los QUEs. Para cada QUE deberán definir al menos una característica técnica (COMO).

En los servicios los COMOs suelen llamarse indicadores de calidad: Para identificarlos se utiliza el brainstorming o el diagrama Ishikawa (causa – efecto). Al igual que los QUEs, los COMOs deben ser organizados, previamente, en diagramas de afinidad o de árbol procurando que tengan un nivel de detalle similar al de los QUEs. (Silvestre, 2000)

Toda vez que los COMOs han sido organizados se confeccionará una lista con los del último nivel de especificación y se entregará un ejemplar a cada uno de

los miembros y se les hará la pregunta: ¿está usted de acuerdo con las siguientes características técnicas? Marque con una cruz. Con las respuestas de los miembros se confeccionará una matriz EGA (Entrada del Grupo de Análisis) siguiendo el mismo procedimiento con que fueron procesados los QUES. En el propósito de que los COMOs y los QUES un nivel de detalle similar se propone determinar la existencia de concordancia entre los expertos a través del método *W* de Kendall, a la vez que se obtiene como solución de dicho método una ordenación de los COMOs que permitirá comprobar que los QUES presenten relaciones fuertes con los COMOs de semejante prioridad.

### 1.2.3 Preparación de la Matriz de Relaciones.

El panel rectangular conformado por las intersecciones entre las filas de los QUES y las columnas de los COMOs recoge las interrelaciones entre ambas categorías. Estas relaciones se establecen sobre el consenso del grupo de trabajo y datos estadísticos derivados de encuestas o diseños experimentales.

Se debe trabajar por columnas analizando para cada característica los QUES a los que le puede dar cumplimiento en determinada medida. Para determinar los grados de relación se debe cuestionar en que medida el indicador resulta eficaz para darle cumplimiento al requerimiento (¿Actuar sobre el indicador asegura cumplir con el requerimiento? ¿En qué medida?). Lo ideal sería que cada COMO tenga al menos una relación fuerte con algún QUE.

Al determinar la relación se anota en la celda de intersección el símbolo que representa dicho vínculo. Las posibles relaciones, sus símbolos y pesos se muestran en la siguiente tabla:

Relación	Símbolo	Peso
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	△	1
Nula		

Tabla 4: Relaciones usadas en la Casa de la Calidad.

No obstante a los pesos referidos en la bibliografía consultada, los autores recomiendan que cada organización adopte sus propios valores para los pesos de las relaciones sobre la base del consenso del equipo de trabajo de acuerdo a las características e intereses de la entidad.

#### 1.2.4 Preparación de la Matriz de Correlaciones.

En el panel triangular de la parte superior de la Casa de la Calidad (techo de la casa) se plasmarán las correlaciones entre los COMOs. Esta información es crítica y resulta indispensable para el trabajo del equipo de diseño, capaz de satisfacer criterios en conflicto ya que se pueden presentar uno o más casos en que satisfacer un indicador va en detrimento de la satisfacción de otro u otros. Esto resulta muy importante en el diseño de nuevos productos. Para desarrollar dicha matriz se deben seguir los siguientes pasos:

- Establecer en la fila 1 (Dirección de Mejora) de la Tabla de Planificación del Diseño el sentido de mejorar para cada COMO, es decir, el sentido en el que se debe variar el indicador para lograr satisfacer el QUE con que se relaciona anotando, según se indica en la tabla que se muestra a continuación, una flecha en sentido ascendente si se mejora la calidad incrementando el valor del indicador, una flecha en sentido descendente si se mejora la calidad al disminuir el valor del indicador y una línea horizontal (guión) si se debe ajustar el indicador a su valor nominal u objetivo, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Dirección de Mejora	Símbolo
Aumentar indicador	
Disminuir indicador	
Ajustar a valor nominal	

Tabla 5: Símbolos Dirección de Mejora.

- Señalar en cada celda del techo de la casa las correlaciones existentes entre los COMOs de acuerdo a la simbología empleada que se observa en la siguiente tabla:

Relación	Símbolo
Positiva Fuerte	
Positiva Débil	
Nula	
Negativa Débil	
Negativa Fuerte	

Tabla 6: Simbología de las Correlaciones.

Para cada COMO se debe interrogar ¿Si se mejora este indicador, este otro mejorará o empeorará?

### 2.2.5 Preparación de la Tabla de Planificación del Diseño.

En el fondo de la Casa de la Calidad es donde se jerarquizan los requisitos del diseño que son críticos ¿Cuál indicador es más importante en términos de satisfacer o superar los requisitos del cliente, cual es el que le sigue en importancia? Y así sucesivamente.

Para ellos se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Calcular el peso de los COMOs y reflejarlo en la fila 3 (Peso absoluto).

El peso del COMO o la ponderación total de la características técnicas en cuestión se calcula multiplicando la importancia para el cliente de cada QUE por el valor de relación con el COMO correspondiente al símbolo que la representa. Luego se realiza la sumatoria de los resultados de la columna, lo cual se resume en la siguiente expresión de cálculo:

$$\text{Peso absoluto COMO} = \sum_{ij} [ (\text{importancia cliente QUE}_i) * (\text{peso relación QUE}_i\text{-COMO}_j) ]$$

Esta operación se realiza con cada uno de los COMOs tal y como se puede observar en el ejemplo de la figura.

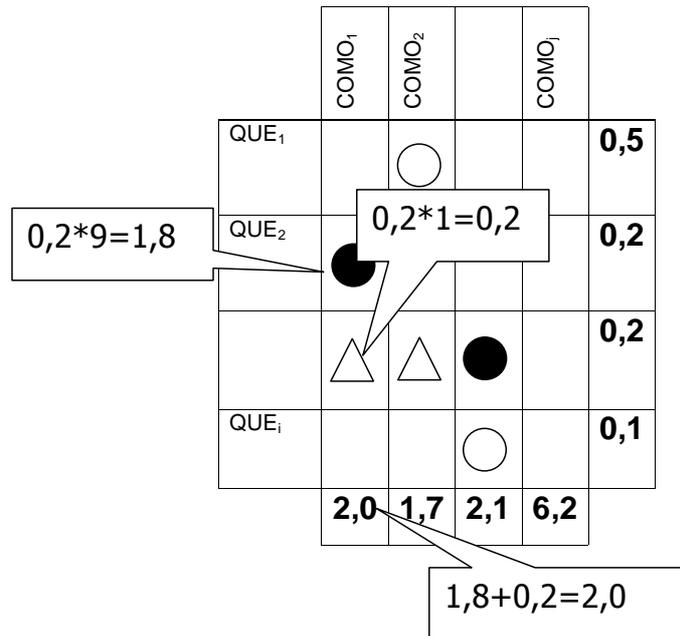


Figura 1: Cálculo de los pesos absolutos de los COMOs.

- Calcular y anotar en la fila 4 los pesos relativos de los COMOs, llevando a tanto por ciento los valores obtenidos en el paso anterior para lo que se puede emplear la siguiente expresión de cálculo.

$$\text{Peso Relativo } \text{COMO}_j = \frac{\text{Peso absoluto } \text{COMO}_j * 100}{\sum_{j=1}^m \text{Peso absoluto } \text{COMO}_j}$$

En caso necesario se transforman los pesos relativos (este paso, por lo general, se suele obviar) para que los pesos de los COMOs sean consistentes con los de los QUEs y se anotan los resultados en la fila 5 (Importancia relativa (trf)). En la fila 6 (orden de importancia) se anota el orden de prioridad de cada COMO

correspondiente con el valor de peso relativo desde 1 hasta n siendo 1 el de mayor prioridad (el de mayor peso).

- Representar en la fila 8 los pesos relativos calculados en la fila 4, obteniéndose de esa forma un gráfico de frecuencias o Histograma.
- Anotar en la fila 10 (compañía) los NCOs (niveles de calidad obtenidos) de la empresa para cada COMO. Estos niveles representan los valores actuales de los indicadores (características técnicas). Así mismo se procederá a anotar en las filas 11 y 12 (empresa A y empresa B) los NCOs obtenidos por los 2 principales competidores. Esto solo suele hacerse para los COMOs más importantes. Para obtener estos datos se puede usar la ingeniería inversa en producto y los clientes ficticios en servicios. Luego se representan los datos de las filas 10, 11 y 12 en su similar número 14 mediante un gráfico de líneas, obteniéndose el gráfico de benchmarking técnico.
- Reflejar en la fila 15 (Plan técnico) el nivel de calidad asignado (NCA) a cada COMO, preferiblemente cuantitativo, teniendo en cuenta la posición actual de la compañía en relación con la competencia, la dirección de mejora del COMO, su peso y correlaciones con otros COMOs. Estos valores corresponden a los CUANTOs. De esta forma se concluye la confección de la versión preliminar de la Casa de la Calidad. Para el cálculo de estos valores los autores han propuesto el procedimiento que se describe en el epígrafe 5.6 que a parece a continuación.

#### **1.2.6 Cálculo de los CUANTOs**

Tomar el COMO de mayor peso (primer orden de importancia).

Buscar el QUE con el que más fuertemente se relaciona, si presenta relación fuerte con más de uno se tomará el que tenga el argumento de venta más fuerte, en caso de empate elegir el de mayor importancia relativa y tomar de este el ratio de mejora.

❖ Si presenta solo correlaciones positivas (ya sean fuertes o débiles) o no presenta correlaciones calcular el NCA (CUANTO) según la expresión:

## Herramientas multicriterio en el Despliegue de la Función de Calidad

$$NCA_j = NCO_j * RM * (I + \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \uparrow$$

$$NCA_j = NCO_j * \frac{1}{RM} * (I - \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \downarrow$$

donde:

NCA<sub>j</sub>: nivel de calidad asignado a la característica técnica<sub>j</sub> (COMO<sub>j</sub>)

NCO<sub>j</sub>: nivel de calidad obtenido por la característica técnica<sub>j</sub> (COMO<sub>j</sub>)

RM: ratio de mejora

$\alpha$ : tasa de incremento, definida por los autores en función del tipo de argumento de venta.

Los valores que puede tomar  $\alpha$  se relacionan en la siguiente tabla:

Valores de $\alpha$	Tipo de Argumento de Venta
0,05	Fuerte
0,02	Débil
0	No argumento

Tabla 7: Valores de  $\alpha$  según argumento de venta

Se somete a consideración del equipo el valor calculado ya que a menudo se presentan diferentes restricciones de acuerdo a las características de la organización que pudieran limitar la variación del valor de algún indicador. Al determinar el valor definitivo se anota y se toma entonces el COMO que le sigue en importancia.

❖ Si presenta correlaciones negativas entonces:

Se busca el o los COMOs con los que presenta relaciones negativas, se toman los pesos relativos, se realiza la sumatoria de los mismos y se calcula la porción ( $p$ ) que representa cada uno en la sumatoria.

$$p_j = \frac{Pr_j}{\sum_{i=1}^n Pr_j}$$

donde:

$p_j$ : porción que representa el COMO<sub>j</sub>.

$Pr_j$ : peso relativo del COMO<sub>j</sub>.

n: número de COMOs involucrados en la cadena de relaciones negativas.

Se calculan los NCA mediante la expresión que se adecue a cada caso:

$$NCA = [VA * (I + (RM - I) * p)] * (I - \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \uparrow$$

$$NCA = \left[ VA * \left( I - \left( I - \frac{I}{RM} \right) * p \right) \right] * (I - \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \downarrow$$

Una vez realizado este procedimiento se continúa con los COMOs cuyos valores (NCA) aún no han sido calculados, siguiendo por supuesto por el orden de importancia.

## **2. Revisión de la Casa de Calidad.**

La construcción de la casa de la calidad debe seguir un proceso interactivo de confección y revisión progresiva, según el ciclo Demming (o PDCA por sus siglas en inglés) la revisión debe centrarse en 5 aspectos.

### **2.1 Revisión del peso de los requisitos.**

Previo a la confección de la matriz de las relaciones, se deben revisar los pesos finales de cada QUE (columna 12) para tener seguridad de que son coherentes con las prioridades de los clientes (columna 1), así como el posicionamiento y estrategia de la empresa (benchmarking competitivo), ratio de mejora y argumento de venta. Debe también comprobarse que los ratios de mejora son factibles (no deben superar el 20%) y que no se ha hecho un uso indiscriminado de los argumentos de venta, se recomiendan solamente 3 ó 4 argumentos fuertes.

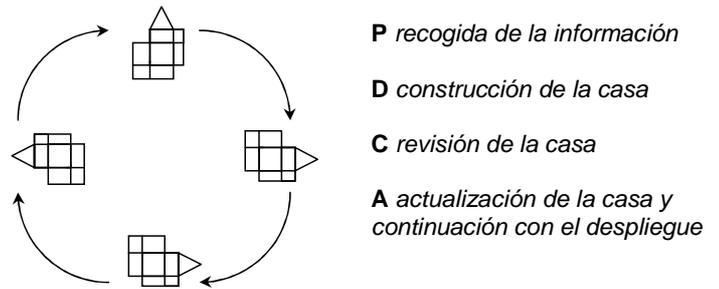


Figura 2.7: El Ciclo PDCA aplicado a la Casa de la Calidad. (Silvestre, 2000)

## 2.2 Revisión de la matriz de relaciones.

Previo a confeccionar la tabla de planificación del diseño, se debe revisar la matriz de relaciones para evitar que hallan filas (o columnas) vacías, con demasiadas relaciones, filas (o columnas) prácticamente idénticas o con demasiadas relaciones débiles.

## 2.3 Revisión de la coherencia del benchmarking.

Los datos de las tablas de planificación de la calidad y del diseño (columna 7 y fila 14) deben ser coherentes, es decir, la diferencia entre la compañía y los competidores deberá ser cualitativamente la misma, tanto en términos de satisfacción de los clientes (benchmarking competitivo) como en términos de prestaciones (benchmarking técnico). En tal sentido hay que observar dentro de la matriz las relaciones fuertes y comparar, para cada una de ellas, los dos tipos de datos indicados.

## 2.4 Revisión de la consistencia de la traducción.

La importancia para el cliente de cada QUE debe transmitirse coherentemente a las características de calidad. Para ello se deberá observar si los COMOs de mayor peso presentan relación fuerte con los QUES más importantes para los clientes, asegurando que la distribución de esfuerzos obtenida para los COMOs

sea consistente con la de los QUEs. Además los QUEs y los COMOs que presentan relaciones fuertes entre si deben tener similares ordenes de prioridad, para ello debe revisarse los valores de S (indicador del método W de Kendall) para ambas categorías.

### **2.5 Revisión de la Matriz de las Correlaciones.**

También deberá garantizarse que los COMOs con mayor número de correlaciones se corresponden con los COMOs de más peso. Entre ellos deberá existir alguna correlación negativa ya que siempre se presentan restricciones en el diseño.

### **3. Despliegue de Matrices (Cascada).**

Una vez que el producto/servicio ha sido planificado hay que analizar el o los procesos que permiten producirlo/prestarlo. En esta parte de la planificación el objetivo es seleccionar el mejor concepto (prototipo) de diseño, documentar los pasos críticos del proceso o de los procesos y establecer indicadores capaces de medir los niveles de calidad de la Casa de la Calidad. Entonces se impone un proceso de selección de los elementos de despliegue que serán usados en las siguientes matrices de la cascada o despliegue. En este proceso los QUEs de la matriz que se desarrolla los constituirán los COMOs de la matriz precedente.

El próximo escalón de la cascada corresponde a la matriz de producto-proceso. Las filas de esta matriz las conformarán las características técnicas y sus valores tanto actuales como asignados (NCA) de la Casa de a Calidad, dado que el número de características técnicas sea elevado se acostumbran a elegir las de mayor importancia, según su peso u otro criterio. Con frecuencia los procesos se dividen en subprocesos a los fines de diseño y operación (ejecución).

La segunda matriz a confeccionar es la de producto-proceso. En esta, la dimensión horizontal (QUEs) la conformarán las columnas (COMOs) de la Casa de la Calidad que en este caso se verán transformadas en qué se debe hacer. Dando respuesta a la interrogante ¿Cómo analizar su relación con los procesos

productivos y las métricas que garantizarán su cumplimiento? Se determinarán los procesos con los que se satisfarán las exigencias de los clientes, en la tabla se reflejarán dichos procesos así como los indicadores de dichos procesos que tienen relación con los QUES de esta matriz. Los procesos seleccionados deberán tener al menos un indicador que se relacione con algún QUE, pudiera darse el caso de que exista un proceso que tenga más de una de sus métricas presentes en la matriz, aunque no necesariamente tendrá que tener relacionadas todas sus métricas (indicadores), solo aquellos que intervengan en la satisfacción de las especificaciones de los clientes ya traducidas. Los cruces entre filas y columnas indican la relación entre las características técnicas del producto y los atributos de calidad de cada proceso. En esta matriz las relaciones son unívocas (Yacuzzi y Martín, 2002), aunque pudiera darse el caso en que una característica técnica tuviese relación con más de un proceso.

En las columnas VA y NCA (ver tabla se anotarán respectivamente el valor actual y el nivel de calidad asignado para el indicador y en la columna siguiente la razón de variación (RV) que se calculará:

$$RV_i = \frac{NCA_i}{VA_i} \text{ si la dirección de mejora es } \uparrow \text{ o}$$

$$RV_i = \frac{VA_i}{NCA_i} \text{ si la dirección de mejora es } \downarrow$$

donde:

RV<sub>i</sub>: razón de variación del QUE<sub>i</sub>

VA<sub>i</sub>: valor actual del QUE<sub>i</sub>

NCA: nivel de calidad asignado al QUE<sub>i</sub>

En la fila VA se escribirá el valor actual para cada COMO de la matriz, luego se anotará en la fila NCA el nuevo valor asignado a cada métrica que se podrá calcular con la expresión que se corresponda a cada caso:

Herramientas multicriterio en el Despliegue de la Función de Calidad

$NCA_j = VA_j * RV_i$  si las direcciones de mejora del COMO<sub>j</sub> y la del QUE<sub>i</sub> relacionados son iguales.

$NCA_j = \frac{VA_j}{RV_i}$  si las direcciones de mejora del COMO<sub>j</sub> y la del QUE<sub>i</sub> relacionados son diferentes.

Este procedimiento se realizará con las restantes matrices del despliegue.

No.	Lista de los QUEs	Como <sub>1</sub>	Como <sub>2</sub>	Como <sub>3</sub>	Como <sub>4</sub>	Como <sub>j</sub>			
		1	2	3	4	5	VA	NCA	RV
1									
2									
3									
4									
5									
6									
VA									
NCA									

Tabla 8: Matriz de despliegue

A continuación se desarrollará la tercera matriz, la de proceso–subproceso, ya que como se mencionó con anterioridad debido a su complejidad los procesos suelen ser disgregados en subprocesos. Según se plantea en el procedimiento, los QUEs de la nueva matriz estarán conformados por los COMOs de la matriz precedente y los COMOs en este caso corresponderán a los subprocesos que forman parte de los procesos que se escogieron en la matriz anterior. Por lo general una característica técnica de un proceso se relaciona con una

característica técnica de un subproceso aunque en algunos casos pueden presentarse características técnicas de procesos con múltiples relaciones.

En último y cuarto paso (escalón) se elabora la matriz funcional, en la que se relacionan las características de los subprocesos con las especificaciones de las actividades operativas (funciones). En este caso también pueden presentarse características técnicas de subprocesos relacionados con más de una función. De esta forma se ha realizado el despliegue desde los requerimientos de los clientes hasta las funciones productivas más específicas de la organización.

#### **4. Implementación del QFD**

El QFD es un método de diseño y en consecuencia con ello debe ser implantado ordenada y sistemáticamente, siguiendo una serie de pasos que se indican a continuación:

1. Seleccionar el proyecto.
2. Formar el equipo de proyecto.
3. Establecer procedimientos de monitoreo.
4. Entrenar al equipo.
5. Conducir una Junta de Despegue.
6. Llevar a cabo la planificación del producto/servicio (desarrollar las matrices).

##### **4.1 Seleccionar el proyecto:**

Si la organización se estrena en el uso del QFD en su labor de gestión de la calidad lo más lógico y aconsejable sería comenzar con un proyecto de mejora y no con uno de desarrollo de un nuevo producto/servicio ya que los proyectos de mejora tienen la ventaja de contar con información existente respecto al producto/servicio, además de cierta experiencia respecto al mismo, esto les da a los miembros del equipo la posibilidad, a pesar de no tener experiencia en el

trabajo con el QFD, de estar familiarizados con el producto/servicio y la información de los clientes respecto al mismo. Un equipo que se estrena en el uso del QFD y a su vez asume un proyecto de desarrollo de un nuevo producto/servicio estaría expuesto a un riesgo muy grande.

Para seleccionar el proyecto que se desarrollará de un grupo de candidatos que por lo general en las empresas existen más de un proyecto, los autores proponen realizar la selección mediante el método Suma Ponderada. Cada empresa deberá definir cuales serán las características a medir (costo de inversión, nivel de ventas que se pronostica, nivel de riesgo, etc.) y el peso de cada una de ellas, el método se explica en el epígrafe 2.6.3.

#### **4.2 Formar el equipo de proyecto:**

La composición del grupo de trabajo estará determinada por la naturaleza del proyecto, si se trata de un proyecto de mejora, en el grupo deberán estar representados los departamentos de mercadotecnia, calidad, producción, economía; si el proyecto es de desarrollo de un nuevo producto/servicio deberán adicionarse representantes de I+D e investigación de mercado. Para que se forme un grupo exitoso en imprescindible garantizar que los miembros del equipo:

- Sean capaces de emplear el tiempo necesario y que cuenten con el apoyo de los supervisores.
- Comprendan el propósito del equipo y del papel que juega cada uno de ellos en particular.

Los expertos han de ser personas con un grado de conocimiento e implicación en el proyecto y no han de tener ninguna motivación política o económica que pueda condicionar su propia libertad de opinión. Los mismos deben ser representativos de todos los segmentos posibles referidos a procesos diferentes, áreas de interés, profesiones o cualquier otra variable que los identifique.

Para la selección del número de expertos que deben participar en el proceso de toma de decisiones los autores proponen utilizar el cálculo del índice de experticidad (IE) para cada uno de los candidatos.

Se realiza un cuestionario para cada uno de los candidatos a expertos, ver anexo # 2, en el cual se recoja la información necesaria relativa a cada candidato en cuanto a experiencia y conocimiento en un grupo de personas relacionadas con el objeto de la planificación.

La estructura del cuestionario permite captar la información con la que se determina el índice de experticidad. El cuestionario cuenta de 2 partes:

Parte 1: recoge las características que definen al candidato

Parte 2: recoge la valoración del candidato respecto a las fuentes que nutren su conocimiento y que avalan su condición de especialista en el asunto.

Las características que se contemplarán son:

$n_{ak}$ : número de veces que el candidato k fue propuesto como experto.

$cc_k$ : coeficiente de competencia para el candidato k y se determina con la expresión:

$$cc_k = \frac{(Cc + Ca)}{2}$$

donde Cc: coeficiente de conocimiento o información que tiene el candidato respecto al tema, calculado sobre la valoración emitida por el propio candidato.

Ca: coeficiente de argumentación de los criterios del candidato (se calcula con el promedio de los grados de influencia asignados en la tabla de la segunda parte del cuestionario).

$ac_k$ : años de experiencia del candidato k en el tema objeto de análisis.

$a_{te_k}$ : años de trabajo del candidato k en la empresa.

El IE se calcula según la expresión:

$$IE_k = \sum_{j=1}^m W_j * C_j \quad \forall k = 1, 2, \dots, n$$

donde:

$IE_k$ : índice de experticidad del candidato k

$W_j$ : importancia que se le otorga a la característica j para el cálculo del IE

$C_j$ : valor normalizado de la característica j

n: cantidad de candidatos propuestos

m: cantidad de características que se evaluarán.

El analista debe asignarle la importancia relativa ( $W_j$ ) a cada una de las características a considerar las cuales serán normalizadas utilizando cualquiera de los métodos desarrollados. (Aragonés, 2003)

Los candidatos que obtengan un  $IE \geq 0,7$  serán seleccionados para integrar el grupo de desarrollo y en lo adelante serán denominados expertos.

Se recomienda que el grupo esté integrado por un número impar de expertos que oscile entre 6 y 9.

#### **4.3 Establecer procedimientos de monitoreo:**

El apoyo de la dirección es un requisito previo indispensable para la aplicación del QFD basado en el compromiso del máximo ejecutivo de la organización por tanto querrá monitorear el avance del proyecto, debe evitarse que la dirección dirija el trabajo del equipo, es necesario lograr un equilibrio entre la autonomía del grupo y la intervención de la alta dirección, para lograr esto es necesario determinar:

- ¿Qué será monitoreado?
- ¿Cómo será monitoreado?
- ¿Con qué frecuencia será monitoreado?

La naturaleza del proyecto determinará que deberá monitorearse. La frecuencia con la que se harán los reportes (orales o escritos) la determinará cada organización en particular. Se recomienda no hacer un reporte cada 2 o 3 semanas, aunque no existe una regla rígida. Lo acertado es establecer una frecuencia que mantenga a la dirección adecuadamente informada.

#### **4.4 Entrenar al equipo:**

Es vital entrenar a los miembros del equipo de desarrollo en los fundamentos del QFD, el trabajo con las herramientas, el proceso de QFD y el trabajo con las diferentes matrices.

#### **4.5 Conducir una Junta de Despegue:**

La Junta de Despegue es la primera reunión oficial del equipo, es importante que para este momento se haya logrado que:

- Todos los miembros hayan comprendido la misión del equipo.
- Cada uno de los miembros haya asimilado el rol que debe desempeñar en el equipo, así como los roles del resto de los miembros.

- Se establezcan parámetros logísticos del proyecto tales como hora de las reuniones, duración y frecuencia.

#### 4.6 Planificación del Producto/Servicio

Una vez cumplidos los requisitos anteriormente relacionados, el equipo está en condiciones de desarrollar las matrices siguiendo el procedimiento que se propone.

### 5 Herramientas del QFD

#### 5.1 Método W de Kendall

El coeficiente de concordancia W de Kendall (Cuesta, 1992) se usa para medir el grado de asociación o relación entre la opinión de varios jueces o expertos respecto a determinadas cuestiones (individuos, situaciones, máquinas, características de calidad, etcétera). El valor  $W$  oscila entre 0 y 1: el valor 1 significa una concordancia de juicios total, y el valor 0 un total desacuerdo; obviamente la tendencia a 1 es lo deseado, pudiéndose realizar nuevas rondas si en la primera no se alcanza significación en la concordancia.

Se procede de la siguiente manera:

1. Determinar  $N$  (número de factores o alternativas) y  $M$  (número de jueces que asignaron rangos o ponderaciones). Se ordenarán los rangos en una tabla " $N$  vs  $M$ ".
2. Para cada factor, se determina  $R_j$  (la suma de los rangos asignados a ese factor por los  $M$  jueces). Se determina también la media general de los rangos  $X_R (= M \cdot (N+1)/2)$  y se expresa cada  $R_j$  como una desviación de la media ( $R_j - X_R$ ). Estas desviaciones se elevan al cuadrado y los cuadrados se suman para obtener  $S (= \sum (R_j - X_R)^2)$ .
3. Cálculo de  $W$  según la expresión:

$$W = \frac{12 \cdot S}{M^2 (N^3 - N)}$$

En el caso en que existan “ligas”, el rango que se le asigna es el promedio de los rangos que les corresponderían (y al rango siguiente se le asigna el rango que le correspondería de no haber existido ligas). En este caso, la expresión fuera más general:

$$W = \frac{12 \cdot S}{M^2(N^3 - N) - M \sum T}$$

donde:  $T = \sum (t^3 - t)/12$  y

t es el número de datos con el mismo valor en cada repetición, o número de observaciones de un grupo ligado por un rango dado.

4. Tomar la decisión:

a) En muestras pequeñas ( $N \leq 7$ ), para decidir si  $W$  es significativamente distinta de 0, se utiliza la “*tabla de valores críticos de S*” (ver Anexo # 3), para significación de  $W$  de 0.05 y 0.01. Evidentemente, aquí se rechaza  $H_0$  (hipótesis nula que expresa la *no* correlación o concordancia entre la opinión de los expertos) cuando se hace mayor que el valor reflejado en la tabla.

b) Para muestras grandes ( $N > 7$ ) se utiliza el estadígrafo  $\chi^2$ , decidiéndose rechazar  $H_0$  si la  $\chi^2$  práctica es mayor que la teórica ( $\chi^2_{\alpha, N-1}$ ). Esta última es extraída del *Libro de Tablas* (Rodríguez; Hernández, 1986) (ver Anexo # 4), mientras la primera se determina de acuerdo con la expresión:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot S}{M \cdot N(N + 1)}$$

En ambos casos, pudiera comprobarse la decisión de acuerdo con el valor de  $W$ , en función de su cercanía o lejanía a los valores referenciales 0 y 1. Asimismo, pudieran seleccionarse las peores alternativas (las de menor  $R_j$ ) o las más importantes; comparando los diferentes valores de  $R_j$  con el valor  $R_j$  promedio.

Se tratará de brindar un mayor entendimiento por medio de un ejemplo: Se tienen 9 expertos ( $E_1, E_2, \dots, E_M = 9$ ) y 6 características ( $C_1, C_2, \dots, C_N = 6$ ); y los correspondientes valores asignados, según se muestra en la tabla:

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>7</sub>	E <sub>8</sub>	E <sub>9</sub>
C <sub>1</sub>	4	4	4	5	5	5	6	5	4
C <sub>2</sub>	4	5	4	4	4	4	4	3	4
C <sub>3</sub>	6	6	5	5	6	5	6	5	4
C <sub>4</sub>	4	4	3	6	2	6	5	4	4
C <sub>5</sub>	2	2	3	3	3	3	2	4	3
C <sub>6</sub>	5	2	2	2	4	3	2	2	4

Tabla 9: Matriz EGA

Se transforman estos valores en rangos, siguiendo las reglas ya explicadas en la sucesión de pasos y se calculan  $R_j$  y  $S$ , se determina el conjunto  $t$ , y se calculan también  $T$  y  $W$ :

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>	E <sub>6</sub>	E <sub>7</sub>	E <sub>8</sub>	E <sub>9</sub>	R <sub>j</sub>	R <sub>j</sub> -X <sub>R</sub>	(R <sub>j</sub> -X <sub>R</sub> ) <sup>2</sup>
C <sub>1</sub>	3	3.5	4.5	4.5	5	4.5	5.5	5.5	4	<b>40</b>	8.5	72.25
C <sub>2</sub>	3	5	4.5	3	3.5	3	3	2	4	<b>31</b>	-0.5	0.25
C <sub>3</sub>	6	6	6	4.5	6	4.5	5.5	5.5	4	<b>48</b>	16.5	272.25
C <sub>4</sub>	3	3.5	2.5	6	1	6	4	3.5	4	<b>33.5</b>	2	4
C <sub>5</sub>	1	1.5	2.5	2	2	1.5	1.5	3.5	1	<b>16.5</b>	-15	225
C <sub>6</sub>	5	1.5	1	1	3.5	1.5	1.5	1	4	<b>20</b>	-11.5	132.25
T	3	2;2	2;2	2	2	2;2	2;2	2;2	5			<b>S = 706</b>
T	2	1	1	0.5	0.5	1	1	1	10	<b>ΣT = 18</b>		

Tabla 10 Cálculo del indicador S.

Nótese en el segundo *experto* ( $E_2$ ) cómo es el ordenamiento: al menor valor (que es 2) le correspondería el rango 1, pero hay dos *características* ( $C_5$  y  $C_6$ ) con ese mismo valor, a las cuales le correspondería entonces los rangos 1 y 2. Estos rangos se promedian:  $(1+2) / 2 = 1.5$  y es el valor que se le asigna a las características en cuestión. Al siguiente valor (que es 4) le correspondería el rango 3 (el 1 y el 2 recuérdese que le hubieran correspondido a  $C_5$  y  $C_6$ , pues a pesar de que se halló un promedio esos eran sus rangos inherentes); pero igualmente hay dos características con ese valor ( $C_1$  y  $C_4$ ) que, correspondiéndoles los rangos 3 y 4 se promedian:  $(3+4) / 2 = 3.5$ , y se le asigna a las características últimas mencionadas. A  $C_2$  se le asigna el orden 5 y a  $C_3$  se le asigna el 6 porque son los rangos que les tocaban, siendo ellas las de mayores valores (5 y 6).

En ese mismo caso del *experto* 2, hay una primera ocasión en que se repiten los rangos (sólo dos veces) y hay otro caso en que pasa lo mismo. Es por eso que en el conjunto  $t$  está 2;2, a diferencia del *experto* 9, en el que hay una vez en que sucede la repetición de los rangos (un solo valor en el conjunto  $t$ ) pero se repite este cinco veces (que es el valor que aparece en dicho conjunto). Otra vez en el *experto* 2, se ejemplificará, ahora con:  $T = (2^3 - 2)/12 + (2^3 - 2)/12 = 1$  (véase que es un sumando para cada número del recuadro de  $t$ ), mientras que en el *experto* 1, sería:  $T = (3^3 - 3)/12 = 2$ .

Por otro lado, como  $M = 9$  y  $N = 6$ , se expresaría:  $X_R = 9 \cdot (6+1) / 2 = 31.5$ , y a partir de este se calcularían otros indicadores, que ya resultan evidentes de entender.

Se finaliza con:

$$W = \frac{12 \cdot 706}{9^2 (6^3 - 6) - 9 \cdot 18} = 0.5$$

En definitiva,  $W = 0.5$ , se considera un valor significativo, por lo que se puede concluir que hay homogeneidad en el criterio de los expertos.

El orden final de las alternativas sería:  **$C_3$ ,  $C_1$ ,  $C_4$ ,  $C_2$ ,  $C_6$  y  $C_5$** , es decir, a mayor S mejor será la alternativa, asumiendo que los valores dados por los

especialistas inicialmente, podía ser perfectamente una puntuación o una nota, de modo tal que la alternativa que más tuviera, era sin dudas la mejor.

### 5.2 Método Borda

La idea básica del mismo es dar un cierto número de puntos para cada clasificación jerárquica del lugar primero, del segundo, del tercero, y así sucesivamente. En tal caso, si hay  $n$  alternativas, el primer lugar merece  $n-1$  puntos; el segundo merece  $n-2$ ; hasta que a la  $n$ -ésima alternativa se le adjudique el valor  $0$ . Se selecciona la alternativa de mayor suma total:

	Experto 1	Experto 2	...	Experto k	$\Sigma$
Alternativa 1					
Alternativa 2					
...					
Alternativa n					

Un ejemplo simple puede ser la selección de cierto candidato en alguna rama, de 3 posibles, basándose en el criterio de 6 expertos ( $E_k$ ) en la actividad. Ellos elegirían de la siguiente forma:

	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$\Sigma$
Candidato 1	0	0	0	1	2	0	3
Candidato 2	2	2	1	2	0	2	9
Candidato 3	1	1	2	0	1	1	6

El ordenamiento sería: **candidato 2, 3 y 1.**

Véase que este método puede ser complementado, para la determinación del consenso, con el *W de Kendall*; este, en alguna parte de su metodología, consta

de una tabla muy similar a la anterior, en la cual están ordenadas las alternativas por lugares o rangos. Se diferencian estas en un detalle fundamental: en el *W de Kendall* los rangos oscilan en el intervalo entre 1 y  $n$ , mientras el *Borda* ordena sus valores entre 0 y  $n-1$ ; pero este aspecto no imposibilita en modo alguno el uso de *Kendall*, el cual incluso se hace más simple aún, al corresponderse con un caso en el cual no existen "ligas".

El método *Borda* puede ser muy eficaz cuando puede confiarse ciegamente en los votantes. Se espera que estos se rijan, ante todo, por la honestidad, sin intentar apilar injustamente el "engalane" a favor de equipos favoritos (en ese caso). También, y sobre todo, cuando los votos vienen de sensores mecánicos o algoritmos de la computadora, entonces el *Borda* puede hacer un trabajo excelente. Sin embargo, el sistema suele tener problemas cuando los votantes son libres y tienden a animar la votación estratégica e insincera; lo cual constituye su principal deficiencia, que se hace peor con el aumento de los candidatos, porque entonces los votantes pueden incrementar aún más el diferencial de puntos, quizás entre "el que quieren beneficiar" y "el que saben tiene mayores posibilidades de obtener el máximo galardón".

En el ejemplo antes mostrado, el *experto 5* ( $E_5$ ), puede ser uno de estos cuyos intereses no sean los más "justos". (Esta situación, en la muestra, se halla resaltada). Nótese cómo al *candidato 1*, que para todos es el peor menos para uno que le dio la posición segunda, él le otorgó el mejor puesto; mientras que al *candidato 2*, que a diferencia es el más apto para todos los expertos menos para uno que también lo colocó en segundo lugar, el quinto de los especialistas lo colocó en una última escala.

Por lo anterior, es el *Borda* el único método en serio que realmente puede no elegir a un candidato seleccionado por una mayoría como su favorito: los demás, justamente escogen a los mayormente seleccionados, o bien se rigen antes de la decisión final por el consenso entre los votantes. Una solución a este problema, ya se propuso indirectamente con anterioridad: lograr el consenso por mediación del *W de Kendall*.

### 5.3 Función de Valor Suma Ponderada.

La escuela normativa ha establecido que existe una función de valor ordinal y una función de valor medible o cardinal, siendo la diferencia entre ellas que la función de valor ordinal expresa un orden como su nombre lo indica de acuerdo a las preferencias del decisor, pero no expresa la intensidad de esas preferencias, lo cual se considera en la función de valor cardinal.

Se define como una función de valor en el conjunto A de las alternativas como aquella que:

$$U(a) > U(b) \Leftrightarrow a P b \quad \text{para todo } (a, b) \in A$$

$$U(a) = U(b) \Leftrightarrow a I b \quad \text{para todo } (a, b) \in A$$

esto significa que:

Si la función de valor de "a" es mayor que la función de valor "b", se dice que "la alternativa a es preferida a la alternativa b" y si sus funciones de valor son iguales esto es equivalente a decir que " la alternativa a es indiferente a la b, no existe preferencia al tener que seleccionar entre ellas dos.

Una función de valor ordinal, específicamente la función suma ponderada, la cual es la forma más elemental de función de valor, pero que nos permite ordenar el conjunto de clientes, la misma se calcula a través de la siguiente expresión:

$$U_i = \sum_{j=1}^m W_j f_{ij}$$

donde:

$U_i$ : función de valor del cliente i.

$W_j$ : peso o importancia relativa del criterio j.

$f_{ij}$ : valor del criterio j para el cliente i.

m: número de criterios.

### 5.4. Determinación de los pesos (importancia)

En este paso resulta relevante la actividad del analista o facilitador (especialista en decisión) y el grupo de expertos, debido a que el analista debe ser

capaz de obtener información racional de los expertos respecto a sus preferencias.

Uno de los principales aspectos en el análisis de los problemas de toma de decisiones multicriterio, es conocer cual es el criterio más importante y cuanto más importante es respecto a los restantes. En este paso se analizarán varios métodos que permiten determinar el peso o importancia de los criterios integrando los intereses de cada decisor en un modelo de grupo.

Los pesos se determinarán a través de las opiniones de los expertos, los cuales expresarán sus preferencias a través de un valor cuantitativo.

Cuando los expertos emiten sus valoraciones respecto a los criterios, si 2 criterios tiene igual valoración indica que ambos criterios son igualmente importantes y si un criterio tiene mayor valoración que otro significa que este primero es el más importante. Más de un criterio puede tener el mismo valor, el valor cero de algún criterio indica la no importancia del criterio, mientras que el valor máximo significa la máxima importancia para ese criterio.

Los procedimientos propuestos a utilizar para la determinación de los pesos el método seleccionado para determinar los pesos está en dependencia de la naturaleza del proyecto y del grupo de expertos, así como de los intereses y características de la entidad.

Los pesos se pueden determinar por las siguientes vías:

- Rating (Tabucanon, 1988; Romero, 1997; Garza, 2001)

$$W_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^m P_{ij}} \quad W_j = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{ij}}$$

donde:

n: número de jueces o expertos (decisores)

m: número de criterios

$P_{ij}$ : votación para el criterio  $j$  emitido por el experto  $i$

$W_{ij}$ : peso del criterio  $j$  emitido por el experto  $i$

$W_j$ : peso del criterio  $j$

➤ Moda

De las valoraciones dadas por los expertos para cada criterio se toma el valor que más veces se repite y ese es el valor que se toma del criterio para el conjunto de expertos. Luego este valor se normaliza, obteniéndose el peso de cada criterio.

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^m P_j}$$

donde:

$n$ : número de criterios

$P_j$ : valor de la moda para el criterio  $j$  según el grupo de expertos

$W_j$ : peso del criterio  $j$

En caso de que más de un valor sean los que se repitan la misma cantidad de veces, es decir; que sea multimodal, se debe seleccionar otro método para seleccionar los pesos.

➤ Ranking (Tabucanon, 1988)

A cada experto se le pide que ponga un rango numérico para cada criterio, donde el rango 1 indicará el criterio de mayor peso, el rango 2 será el próximo y así sucesivamente. Estos rangos son transformados en rangos convertidos, donde: el rango 1 se transforma en el rango convertido  $(m-1)$ , siendo  $m$  el número de criterios, el rango 2 se transforma en el rango convertido  $(m-2)$  y así sucesivamente hasta el rango  $m$  que se transforma en el rango convertido 0. Existen  $m$  rangos porque hay  $m$  criterios.

$$R_j = \sum_{i=1}^n R_{ji}$$

donde:

n: número de jueces o expertos (decisores)

$R_{ij}$ : el rango convertido asignado para el criterio j por el experto i

$R_j$ : suma de los rangos convertidos dado por los expertos para cada criterio j

$$W_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^m R_j}$$

donde:

m: número de criterios

$W_j$ : peso del criterio j dado por el grupo de expertos

Para los tres casos anteriores, los valores de los pesos deben cumplir las siguientes condiciones:

$$0 \leq W_j \leq 1 \text{ y } \sum W_j = 1$$

➤ Media Aritmética

$$W_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ij}}$$

donde:

n: número de jueces o expertos (decisores)

m: número de criterios

$P_{ij}$ : valoración para el criterio j emitido por el experto i

$W_j$ : peso del criterio

### **Bibliografía**

1. Alonso Carot, Vicente (1999), "Gestión y Control de la Calidad, Curso Básico", Universidad Politécnica de Valencia, Servicio Público 1999, España.
2. Akao, Yoji (1997). "QFD: Past, Present, and Future". International Symposium on QFD
3. Barba-Romero, Sergio, Pomerol, Jean Charles. "Decisiones Multicriterios. Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica". Colección de Economía. Universidad de Alcalá, 1997.
4. Bounds G., Yorks L A., Mel R. "Beyond total quality management: Toward the emerging Paradigm" Mc Graw Hill, EEUU. 1994.
5. Crowe, Thomas J. and Chao-Chun Cheng (1996). "Using quality function deployment in manufacturing strategic planning", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 16, No. 4, pp. 35-48.
6. Cuesta Santos, Armando. Gestión de competencias. Editorial Academia, 2001
7. Franceschini, Fiorenzo & Sergio Rossetto (1998). "Quality function deployment: How to improve its use", *Total Quality Management*, Vol 9, No. 6, pp. 491-500.
8. Gonzalez Gonzalez, Aleida." Material de la Maestría de Calidad Total", 2003.
9. Garza Rios, Rosario. Procedimiento multicriterio para la planificación de rutas de distribución. Tesis para optar por el Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Ciudad de la Habana, ISPJAE, 2001.
10. Griffin, Abbie and John R. Hauser (1992). "Patterns of communication among marketing, engineering and manufacturing—a comparison between two new product teams", *Management Science*, Vol. 38, No. 3, March, pp. 360-373.

11. Romero, Barbara; Pomerol, J. Ch.(1997): Decisiones multicriterio: Fundamentos Teóricos y Utilización práctica. Colección de Economía. Universidad de Alcalá, España
12. Tubancanon, M.T."Multiple Criteria Decision Making in Industry". The server Science Publishers B. V, 1988.
13. Tubancanon, Mario(1988):"Multiple Criteria Decision Making in Industry", Studies in Production and Engineering Economics, Elsevier. Amsterdam-Oxford-New York, Tokyo.
14. Wiebe, Henry A. (1998). "Quality Function Deployment: A Tool for Packaging Design", *Packaging Technology & Engineering*, Vol. 7, Issue 9, September.