

CAPÍTULO 7

La gestión de calidad en el proyecto

Objetivos del capítulo

El resultado de un proyecto es un bien o servicio cuya aceptación depende de alcanzar determinados valores en ciertos indicadores o parámetros, por ejemplo, satisfacción del cliente, número de horas de funcionamiento sin error o máximo desgaste admisible ... Estos parámetros son útiles porque determinan las condiciones bajo las cuales el receptor del bien o servicio acepta que el mismo tiene una calidad suficiente según sus expectativas.

A nadie escapa que el resultado de un proyecto alcanza el nivel de calidad exigido si el proceso de creación o prestación del bien o servicio ha seguido igualmente un criterio de calidad. Es decir, el resultado del proyecto tiene calidad si la forma en que se ha generado obedece a un criterio de calidad, lo cual es tanto como afirmar que los procesos de gestión implicados en el proyecto se han desarrollado alcanzando unas cotas de calidad previamente definidas.

En este capítulo se presentan las actividades que se han de realizar para lograr que los productos finales de un proyecto tengan la calidad requerida, implicando para ello los controles necesarios en los procesos intermedios de elaboración de los bienes y servicios finales.

Al igual que en capítulos previos, la metodología de estudio preferente se ha de basar en la comprensión de las actividades y en el conocimiento profundo de las técnicas que se mencionen, en tanto la relación de actividades está disponible en los manuales de referencia de gestión de proyectos.

1. Introducción al grupo de actividades de gestión de calidad en un proyecto

La gestión de la calidad en un proyecto es un conjunto de actividades cuyo fin es la implantación de medidas que posibilitan la ejecución de procesos de gestión bajo unos parámetros de calidad que darán como resultado un producto o servicio con los requisitos exigidos. Es decir, las actividades de calidad tienen como fin dotar al producto o servicio de la calidad requerida por el cliente, pero para ello no se centran exclusivamente en la calidad del mismo, sino que extiende la responsabilidad de la calidad del resultado a lo buenos o malos que sean los procesos con los que se ejecutan y los procesos con los que se gestiona el proyecto.

Para entender esto supongamos un proyecto en el que se ha pedido levantar una construcción para guardar trastos. Debe ser cuadrada, de 2 m de altura, a ras de suelo y con teja roja. Debe tener una ventana de 60 cm × 60 cm. Los requisitos están claros y son sencillos. Aparentemente el proyecto está bien planificado. Supongamos que la contratación de personal para la realización de la obra se realiza sin los controles de calidad adecuados y se contrata a personal sin experiencia suficiente, resultando una construcción en la que las tejas se mueven. Evidentemente cuando se realicen las pruebas pertinentes sobre el producto final (la construcción), se detectarán dichas anomalías, por lo que será necesario desmontar el tejado, formar a los operarios, volver a poner las tejas y, por último, volver a testear el resultado final. Esta situación se podrían haber evitado (y por ende todos los costes asociados) si el proceso de contratación se hubiera llevado a cabo bajo unas medidas de calidad adecuadas, es decir, si se hubiera verificado que la contratación (proceso de gestión de recursos humanos) estaba incorporando profesionales con la capacitación adecuada, se habrían evitado las actividades de desmontaje y montaje del tejado de la edificación. Con este sencillo ejemplo se pretende evidenciar la importancia de la calidad no solo en el producto, sino también en el proceso.

Desde un punto de vista práctico y dejando al margen los procesos de identificación de actividades y cierre de actividades pendientes, la gestión de la calidad dispone tres actividades fácilmente identificables. La primera es planificar las actuaciones que se desarrollarán para gestionar la calidad. La segunda es verificar el cumplimiento de dichas actuaciones. La tercera es comprobar los resultados de dichas actuaciones, esto es, medir procesos y productos para corroborar que se alcanzan los estándares y parámetros exigidos. Llevado esto al ejemplo de la construcción del trastero anteriormente citado, la planificación de la calidad indicaría la necesidad de contratar a personal experto en la colocación de tejas. La segunda actividad se encargaría de verificar que el Departamento de Recursos Humanos está seleccionando candidatos con este conocimiento. La tercera actividad verificaría que las tejas están correctamente colocadas. En la realidad, la planificación de la calidad es una actividad que se encuentra distribuida en todos los planes (costes, tiempo, recursos, definición o alcance ...), por lo que es habitual no definir ni planificar al detalle dentro del plan de calidad, sino referir los detalles a los apartados de calidad existentes en los distintos planes (plan de costes, plan de tiempos, ...).

Con relación a la actividad primera consistente en la identificación de las actividades de gestión que se adoptan/adaptan en el proyecto concreto, es necesario aclarar que, en general, para proyecto de tamaño mediano y grande se suelen incorporar las tres actividades expuestas en el párrafo anterior. En proyecto, de tamaño pequeño o en proyectos cuyo ciclo de vida no es en cascada, las actividades de gestión de calidad se pueden limitar a la verificación

de las características del producto final. Esto es así porque la ausencia de procesos de gestión extensos en el tiempo (lo cual sucede en proyectos grandes) es improbable cometer equivocaciones o errores que deriven en fallas en el producto final.

Para ello, el grupo de actividades de gestión de la calidad señala un conjunto de actividades de gestión que se deben desarrollar para acometer esta tarea de gestión de la calidad:

1. Identificación de las actividades del área de gestión de calidad en el proyecto que se adoptarán/adaptarán en el proyecto (GQP1).
2. Realizar un plan de calidad de proceso y producto (GQP2).
3. Auditar la ejecución del plan de calidad (GQP3).
4. Monitorizar la calidad del proceso y producto (GQP4).
5. Conclusión o cierre de actividades abandonadas o pospuestas (GQP5).

2. Actividades comprendidas en el grupo de actividades del área de gestión de calidad del proyecto

2.1. Identificación de las actividades del área de gestión de la calidad del proyecto que se adoptarán/adaptarán en el proyecto (GQP1)

A) Descripción de la actividad

La primera actividad obligatoria dentro de la gestión de la calidad del proyecto pertenece a la etapa inicial y consiste en señalar cuáles de las actividades propuestas se debe incorporar en el proyecto. Según las características del proyecto, será necesario seleccionar las tres o quizá sea posible evitar la auditoría de la ejecución del plan. Por lo general, para proyectos de mediana y gran envergadura se optará por considerar todas las actividades en el conjunto de actividades a realizar dentro de la gestión de la calidad. Dependiendo del ciclo de vida seleccionado para el proyecto y/o para cada fase del proyecto, nos encontraremos con que la auditoría de la ejecución del plan de calidad es evitable. Si el proyecto es de pequeñas dimensiones y se ha optado por ciclos de vida en espiral o basados en prototipos, será posible ahorrar dicha actividad de auditoría del plan de calidad. No olvidemos que los ciclos de vida más breves o aquellos proyectos en los que la fase de ejecución se realiza con metodologías ágiles, la calidad está implícita en la forma de ejecutar el proyecto y por ello no es necesario sobrecargar al mismo con actividades de gestión de la calidad.

En ese instante, el jefe de proyecto debe seleccionar de entre la siguiente lista de actividades (no obligatorias):

- Realizar un plan de calidad de proceso y producto (GQP2).
- Auditar la ejecución del plan de calidad (GQP3).
- Monitorizar la calidad del proceso y producto (GQP4).

Es importante resaltar que las actividades de gestión anteriores son compatibles con esquemas de calidad tales como los propuestos en las normas ISO, el enfoque de gestión de calidad total (TQM), 6Sigma, CMMI o con los modelos propuestos por Juran, Deming o Crosby.

B) Técnicas. Herramientas

Juicio de expertos. La valoración de un comité de expertos puede ayudar a decidir si es necesario un plan de calidad, su auditoría y seguimiento (o ninguna de estas actividades) en función de las características del proyecto y del ciclo de vida seleccionado. De este modo los expertos nos pueden aconsejar desechar la idea de incorporar procesos de calidad, si estamos en una fase de ejecución en la que se emplean metodologías ágiles o, por el contrario, nos pueden recomendar ejecutar todas las actividades de calidad, con el fin de dotar al producto final de la calidad necesaria.

2.2. Realizar un plan de calidad de proceso y producto (GQP2)

A) Descripción de la actividad

La realización de un plan de calidad en un proyecto es una actividad que tiene como misión elaborar un documento en el que se plasme qué tareas se han de desempeñar con el objeto de dotar de calidad al producto o servicio final del proyecto. Estas tareas pueden afectar tanto al producto o servicio como a los procesos de gestión y elaboración del mismo.

Se trata por tanto de una actividad en la que se establece qué verificar, cómo medir y cuándo medir determinadas cuestiones del producto y del proyecto. Todo ello se plasma en un documento (o se incluye en los distintos documentos plan de costes, plan de tiempos, plan de riesgos ...) que es el plan de calidad.

Algunas cuestiones que se incluyen en dicho plan son qué modelo de calidad se va a seguir en el proyecto (6Sigma, TQM, ISO ...), qué mejora continua se va a implementar (CMMI, Lean ...), cuántos recursos vamos a dedicar a calidad (COQ), cómo se va a garantizar el seguimiento de la calidad, etc. Todas estas y otras cuestiones se abordan con las herramientas que posteriormente se presentan.

Por otra parte, y dado que lo más importante es verificar que se satisfacen las propiedades pedidas al producto o servicio, la principal entrada de esta actividad es el documento de requisitos (o de definición del proyecto), así como el documento de riesgos a que está expuesto (pues es lo que puede hacer que no se alcancen los requisitos).

Como principal resultado de esta actividad se espera obtener un documento en el que figuren qué elementos se van a someter a un proceso de calidad (pueden ser documentos del proyecto, procesos o entregables intermedios), cómo se van a medir, cuándo se va a medir, con qué recursos se cuenta, qué van a medir estos recursos, etc.

B) Técnicas. Herramientas

a) *Análisis del coste de la calidad (COQ)*

Es importante analizar la importancia de considerar la calidad en los proyectos desde un punto de vista de costes. Es obvio que no considerar la calidad durante la realización de un proyecto conllevará a la finalización de este un esfuerzo para la resolución de todos los errores e incidencias que acumulará el producto o servicio para el que se pensó el proyecto.

Por ejemplo, si se está desarrollando una aplicación informática y no se ha realizado ningún tipo de testeo de la aplicación, es prácticamente imposible evitar la aparición de múltiples defectos a la finalización de este.

Por otra parte, es entendible que la asignación de recursos que vigilen cada uno de los procesos, así como los parámetros de calidad de los productos intermedios antes del producto final del proyecto, redundará en un menor número de errores e incidencias. Con esto no se quiere decir que no aparecerán errores, sino que la asignación de recursos minorará el número de errores e incidencias que tendrá el producto o servicio final.

Por otra parte, la asignación de estos recursos supone un coste para el proyecto, de modo que no asignarlos implica un coste cero para el proyecto y conforme más recursos apliquemos al proyecto, mayor será el coste de la calidad (o mejor dicho, de encontrar defectos en el proyecto).

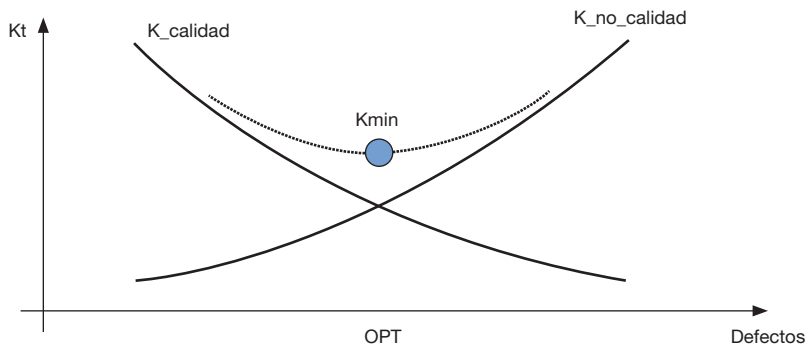
En términos generales se admite que el coste total de la calidad es la suma del coste que suponen los recursos encargados de que el producto final no tenga errores o deficiencias más el coste de los recursos encargados de resolver las incidencias que aparezcan en el producto final. El primer término es lo que se denomina *coste de la calidad* y el segundo término se denomina *coste de la no calidad*. Por ello, podemos expresar:

$$\text{Coste total de calidad} = \text{Coste de la calidad} + \text{Coste de la no calidad}$$

La representación del coste de resolver los errores al finalizar el proyecto (coste de no calidad) y del coste de asignar recursos a encontrar errores durante el proyecto (coste de calidad) lo vemos en la figura 1.

En dicha figura, K_{calidad} representa el coste de la calidad y $K_{\text{no_calidad}}$ representa el coste asociado a la no calidad. Se observa que el coste de la calidad es alto para el caso en que aparecen pocos defectos y el coste de la no calidad en este caso es pequeño (hay que corregir pocos defectos). En cambio, para el caso en el que aparecen muchos defectos, el coste de la no calidad es alto y el coste de la calidad es bajo (se han asignado pocos recursos a encontrar defectos y validar la aplicación de los procedimientos). La línea punteada representa el coste total de la calidad. Vemos cómo dicha curva tiene un mínimo que es el punto óptimo del proyecto desde el punto de vista de costes totales de calidad (OPT). Dicho punto representa la situación de mínimo coste para el proyecto si sumamos los retrabajos de la no calidad y los costes de verificación de cada proceso y cada entregable.

■ Figura 1. Coste total de la calidad



Los costes de calidad se clasifican en dos grandes grupos:

- Costes de construir un producto de calidad:
 - Costes de formación.
 - Costes de procedimentación, documentación, sensibilización acerca de procesos.
 - Costes asociados directamente al equipo (coste de los recursos).
- Costes de testeo:
 - Realización de pruebas por el equipo.
 - Coste de los ensayos (por ejemplo, en pruebas destructivas).
 - Inspecciones, *walkthroughs* y otros mecanismos de revisión.

Por otra parte, los costes de no calidad generalmente se asocian a:

- Costes directos derivados del fallo:
 - Retrabajo.
 - Desecho del trabajo (por ejemplo, si hay que eliminar el producto defectuoso).
- Costes indirectos derivados del fallo:
 - Multas, sanciones (si no se entrega el producto o servicio a tiempo).
 - Resoluciones por garantías.
 - Pérdidas de negocio y de imagen de marca.

Para entender este concepto mejor vamos a exponerlo con un ejemplo.

EJEMPLO 1

Para el proyecto eClients del despacho de abogados, se está trabajando en el desarrollo de un *software* para que los clientes puedan autoescanear y subir documentos a la plataforma.

En proyectos similares se ha guardado el número de defectos aparecidos según los recursos asignados a comprobar y verificar constantemente el producto (T1).

La penalización por error es la indicada en (T2).

El coste por recurso es de 3.000 euros y el coste de gestión por parte del jefe de equipo de *testing* se estima que tiene un coste dado por (T3).

Estimar el número de recursos óptimo a considerar en el plan de calidad para testear la aplicación.

T1 Recursos	Defectos entregables	T2 Defectos	Penalización por cada defecto (€)	T3 Recursos	Coste gestión (€)
3	1.000	1.000	30	3	675
4	950	950	25	4	1.200
5	900	900	19	5	1.875
6	850	850	17	6	2.700
7	775	775	15	7	3.675
8	700	700	14	8	4.800
9	625	625	14	9	6.075
10	550	550	10	10	7.500
11	450	450	10	11	9.075
12	350	350	8	12	10.800
13	250	250	7	13	12.675
14	150	150	7	14	14.700
15	50	50	5	15	16.875

Para resolver el ejercicio hemos de construir una tabla en la que situemos el coste total de la no calidad, dado por la penalización total de todos los defectos aparecidos (coste de penalización). En dicha tabla incluiremos también el coste de los recursos encargados de validar y verificar la aplicación (coste recursos), que será el número de recursos por el precio de cada recurso. Por último, en dicha tabla incluimos también el coste de gestión de los recursos (coste gestión) de calidad como un coste adicional de calidad: la suma de estos dos componentes es el coste de la calidad (coste calidad)

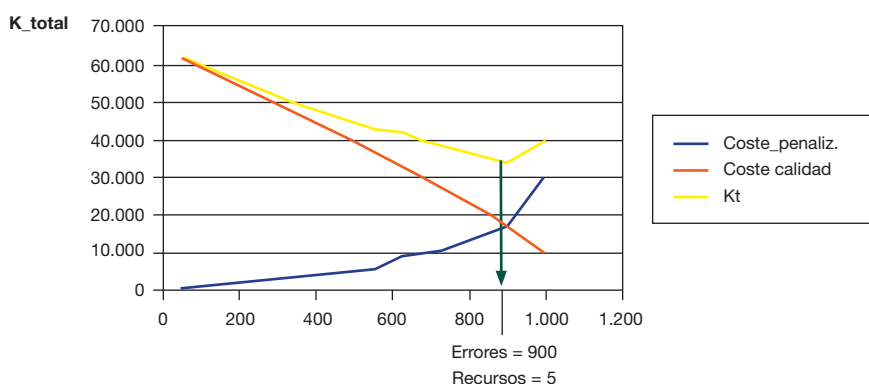
Una vez tenemos el coste de la no calidad y el coste de la calidad, obtenemos el coste total de calidad como la suma de ambos (Kt).

La siguiente tabla contiene lo expuesto :

Recursos	Defectos_producto	Penaliz_error	Coste_penaliz.	Coste recursos	Coste_gestión	Coste calidad	Kt
3	1.000	30	30.000	9.000	675	9.675	39.675
4	950	25	23.750	12.000	1.200	13.200	36.950
5	900	19	17.100	15.000	1.875	16.875	33.975
6	850	17	14.450	18.000	2.700	20.700	35.150
7	775	15	11.625	21.000	3.675	24.675	36.300
8	700	14	9.800	24.000	4.800	28.800	38.600
9	625	14	8.750	27.000	6.075	33.075	41.825
10	550	10	5.500	30.000	7.500	37.500	43.000
11	450	10	4.500	33.000	9.075	42.075	46.575
12	350	8	2.800	36.000	10.800	46.800	49.600
13	250	7	1.750	39.000	12.675	51.675	53.425
14	150	7	1.050	42.000	14.700	56.700	57.750
15	50	5	250	45.000	16.875	61.875	62.125

Con los datos de esta tabla ya podemos representar el coste de la no calidad (penalizaciones) y coste de la calidad (recursos y gestión), así como el coste total de calidad como suma de ambas en función de del número de recursos asignados o de los defectos que se sabe aparecerán:

■ Figura 2. Coste total de la calidad



Vemos que el mínimo se obtiene para el caso de 900 errores, correspondiente a los defectos que aparecen al asignar cinco recursos. Por tanto, el mínimo coste de la calidad total se obtiene para cinco recursos, siendo este el número de recursos que asignaríamos para detectar errores y controlar la calidad.

b) Selección de modelos de calidad y mejora continua

Durante la elaboración del plan de calidad será necesario tomar algunas decisiones importantes, tales como qué modelo de calidad emplear (si es que se decide emplear alguno): Crossby, Deming, Juran ... De igual modo será necesario seleccionar el modelo de mejora continua aplicable en el proyecto (CMMI, 6Sigma ...).

Para poder realizar esta selección es posible recurrir a diferentes métodos, pero uno de los más utilizados es el de árbol de decisión, que veremos con detalle en el capítulo dedicado a la gestión de riesgos.

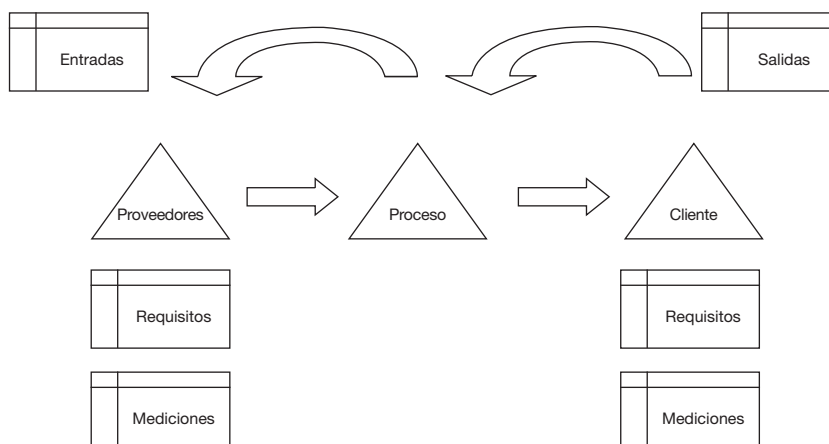
c) Cadena de valor SIPOC

El acrónimo SIPOC proviene de las palabras Proveedor-Entrada-Proceso-Salida-Cliente (en su versión en inglés). Se trata de un diagrama de flujo en el que se representa para cada proveedor la entrada que se espera del mismo y qué requisitos ha de verificar el producto o servicio adquirido. Se incluye en dicho flujo la lista de mediciones que se realizarán sobre dichos productos o servicios, a fin de corroborar la validez del mismo.

Estos productos o servicios se emplean en procesos para generar unas salidas (nuevos productos o servicios) para clientes (internos o externos). Estas salidas deben satisfacer unos requisitos, los cuales se corroborarán mediante una lista de mediciones identificadas.

Este flujo se representa en un esquema como el indicado en la figura 3. Es sumamente útil para generar una cadena de valor de la calidad que permita una trazabilidad de los requisitos desde el proveedor aguas arriba hasta el cliente aguas abajo.

■ Figura 3. Diagrama de flujo-SIPOC



El objetivo de este tipo de diagramas es mantener la trazabilidad del producto final desde el proveedor inicial, constatando en cada paso que se cumplen las mediciones para satisfacer los requisitos exigidos en cada paso. Por otra parte, es importante resaltar la relación que existe entre este diagrama y la matriz de trazabilidad de requisitos estudiada en el capítulo de gestión de definición del proyecto. En aquel momento se establecían requisitos sobre el producto o servicio final y se creaba un conjunto de relaciones entre requisitos para saber qué requisitos impactaban o eran impactados por otros. Este conjunto de requisitos incorporados en la matriz de trazabilidad de requisitos se corresponden en su mayor parte con los requisitos representados en la parte derecha de la figura 1. El resto de requisitos exigibles hacen referencia a características de los productos que debemos exigir al proveedor (por ejemplo, si el cliente nos pide un acero con determinada resistencia, dicho requisito se traslada inmediatamente al proveedor y aparecerá en la parte izquierda de la figura 1) aparecen como requisitos exigibles a nuestros suministradores. En conclusión, en la tabla de requisitos de la derecha aparecerán requisitos de funcionalidad (o funcionamiento, o de sistema ...) y eventualmente algunos relacionados con lo que nos tiene que suministrar el proveedor (por ejemplo, el proveedor nos tiene que suministrar un circuito que soporte temperaturas de hasta +70°C), y en la tabla de la izquierda aparecerán requisitos exigibles, los productos con los que desarrollamos el proyecto, es decir, los que pediremos a nuestros proveedores por necesidades del proyecto, por ejemplo, necesitamos un acero dúctil y maleable para que el proceso de transformación permita obtener la pieza con las medidas solicitadas por el cliente. En este ejemplo, el cliente solicita requisitos sobre el tamaño y forma de la pieza, pero no nos indica si el acero ha de ser maleable o no, eso es algo que el jefe de proyecto solicitará al proveedor para poder realizar la pieza encargada por el cliente.

d) Planificación de pruebas, inspecciones y walkthroughs

Dentro de la planificación de la calidad es preciso indicar qué se va a medir en cada caso: la longitud de una pieza, el tiempo en realizar un proceso, los datos que hay en un informe, el tiempo de respuesta de un circuito, la formación de los recursos incorporados al proyecto o el periodo con que se miden los riesgos del proyecto. Es decir, se deben determinar qué características del proceso y del producto final se quiere mantener bajo control. Estas características representan las magnitudes medibles del proyecto/producto.

Además de indicar qué hay que medir, se debe indicar cómo hay que medir. Existen múltiples modos de obtener una medida y es necesario indicar cuál de ellos se va a emplear en cada caso. Por ejemplo: «los errores en códigos previos a la integración se determina que serán realizados mediante inspecciones semanales del código. Estas inspecciones son pruebas estáticas (no se ejecuta el programa) para encontrar posibles errores previos a la compilación y ejecución del código fuente del programa». O bien: «las piezas serán inspeccionadas visualmente por dos operarios para determinar si tiene las características visuales y táctiles adecuadas; en caso de que ambos operarios no acepten la pieza, esta será descartada». Es posible también definir pruebas mucho más precisas: «las piezas serán medidas mediante láser para determinar la longitud máxima. Se deben aceptar solo piezas con la medida nominal $\pm 1\%$ ».

Por último, hay que indicar cuándo y quién realizará estas pruebas. Por ejemplo: «se seleccionarán piezas aleatoriamente a un ritmo estimado de 2 cada 100 y se realizará la medición con láser sobre una pieza y una inspección visual sobre la otra».

2.3. Auditar la ejecución del plan de calidad (GQP3)

A) Descripción de la actividad

La actividad de auditoría de ejecución del plan de calidad tiene el objetivo de revisar que las actividades de cada una de las áreas de gestión (costes, plazos, recursos ...) y los productos intermedios se están llevando a cabo conforme se ha definido. Esta actividad de auditoría es en realidad un chequeo estructurado que sirve para confirmar que las distintas tareas del proyecto se están llevando a cabo conforme se ha definido en los distintos planes. Así, si en el plan de costes, para asegurar la calidad de los informes, se solicita que estos han de incluir determinados indicadores (por ejemplo, valor ganado, costes incurridos, previsión de costes y previsión de valor ganado) a uno, dos y tres meses vista, la auditoría del plan de calidad se debe encargar de verificar que dichos informes han sido generados y que incluyen los indicadores definidos. Otro ejemplo, si en el propio plan de calidad se establece que mensualmente se han de revisar los procesos de calidad para ver qué aspectos de estos se pueden mejorar, la auditoría debe constatar que mensualmente se han propuesto mejoras en los procesos de calidad (incluyendo el propio de auditoría o el de monitorización de la calidad). Esta mejora de los procesos se puede establecer o referir a algún estándar de mercado, como CMMI o 6Sigma, pero en cualquier caso la actividad de auditoría debe constatar que se están siguiendo las pautas marcadas por CMMI o 6Sigma.

B) Técnicas. Herramientas

a) Auditorías de calidad

Las auditorías de calidad se llevan a cabo en distintos ámbitos y organizaciones pero en todos ellos el esquema de funcionamiento es parecido. En general, se trata de tomar como entrada el plan de calidad y averiguar todos los ítems que se han de auditar: *software*, *hardware*, materiales, piezas, servicios, documentos ... entre otros son ejemplos de elementos auditables según el plan de calidad.

Tomando como punto de partida estos elementos, se realiza una lista de chequeo que incluye qué ítem y qué característica de este ítem se ha de auditar. Por ejemplo, verificar que la actualización a la línea base de costes se realiza cada dos semanas. En este caso el ítem es *línea base de costes* y la característica a auditar es *actualización bisemanal*.

Otro ejemplo que se puede encontrar en auditorías de calidad: verificar que las solicitudes de cambio de la definición del proyecto han sido incluidas y ejecutadas.

En general, estos chequeos o auditorías de calidad están organizados y planificados de modo que a partir de la lista de ítems a verificar se hace un recuento de los que se han supe-

rado, de los que no se han superado y de los que se han superado parcialmente. Todos ellos se ponderan mediante unos pesos y dan lugar a una cifra que representa el porcentaje de superación de la auditoría. La siguiente figura incluye un ejemplo de lista de chequeo y de cálculo de resultado de la auditoría:

■ Figura 4. Resultado de la auditoría

Ítem a valorar	Valoración (1-10)	Peso	Resultado
Los informes de costes incluyen todos los KPI requeridos	8	10	80
El equipo de pruebas realiza pruebas de inspección diaria a las piezas	10	10	100
El equipo de desarrollo realiza reuniones diarias para informar de problemas	5	5	25
Las piezas elaboradas tienen las dimensiones indicadas en los requisitos de definición del proyecto ..	7	8	56
Total			261

Porcentaje de superación: 79,09 %

En la figura 4 se han incluido cuatro ítems en la auditoría, reflejados en la primera columna. En la segunda columna se puntúa con un valor de 0 a 10 el grado de consecución del ítem auditado, donde 0 significa que no se ha logrado y 10 representa el máximo grado de consecución. En la tercera columna se incluye el peso o importancia del ítem en la auditoría y en la columna «Resultado» se incluye la valoración ponderada por el peso del ítem. En este ejemplo la calificación máxima sería $(10 + 10 + 5 + 8) \times 10$ puntos, es decir, 330 puntos. Dado que el resultado de la auditoría es 261, esto representa un grado de consecución del 79,09 %. Si previamente se hubiera estipulado que la auditoría se supera alcanzando un 80 %, en este caso el resultado nos informa de que no se han superado los resultados de la auditoría; por ello se debería proceder a subsanar todos aquellos ítems que más influyen (aquellos con un resultado más bajo respecto a su máximo resultado posible).

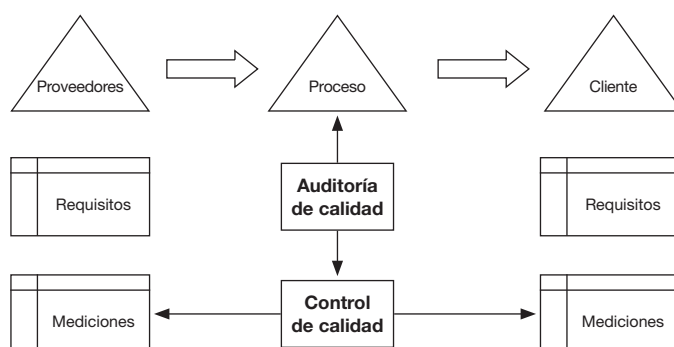
2.4. Monitorizar la calidad del proceso y producto (GQP4)

A) Descripción de la actividad

La actividad de monitorización de la calidad es una actividad que persigue controlar valores concretos exigibles al proyecto o al producto/servicio para comprobar si satisfacen los requisitos. En algunas ocasiones puede ser complicado distinguir entre la actividad de audi-

toría previamente explicada y la actividad de monitorización de la calidad. Para entender la diferencia podemos pensar que la monitorización de la actividad se encarga de medir los valores concretos finales por los que se considera que el producto o servicio se considera de calidad (es decir, será aceptado por el cliente), mientras que la auditoría de calidad verifica medidas y procesos intermedios que harán que el producto/servicio final tenga calidad). La siguiente figura 5 muestra esta idea.

■ Figura 5. Resultado de la auditoría



Aquí vemos claramente cómo la auditoría persigue verificar que la forma de hacer las cosas es acorde a lo planificado, mientras que el control de calidad persigue verificar que el resultado de lo ejecutado (es decir, lo que nos envían los proveedores o lo que generamos en el proyecto) es acorde a los requisitos –para lo cual es preciso hacer constantes mediciones–. Observamos que la auditoría de calidad verifica incluso que se realizan los controles de calidad planificados, es decir, que se están realizando las mediciones sobre los productos comprados y sobre los productos generados.

Como resultado o salida de esta actividad se espera obtener un conjunto de mediciones sobre distintos parámetros del proyecto (proceso o producto) que servirán para tomar las medidas adecuadas mediante la gestión de cambios oportuna (en la definición, en el plan de costes, de tiempos, etc.). O al menos, si no disponemos de tales mediciones, se espera conocer las relaciones entre variables que afectan en el proyecto, como veremos con el diagrama causa-efecto.

B) Técnicas. Herramientas

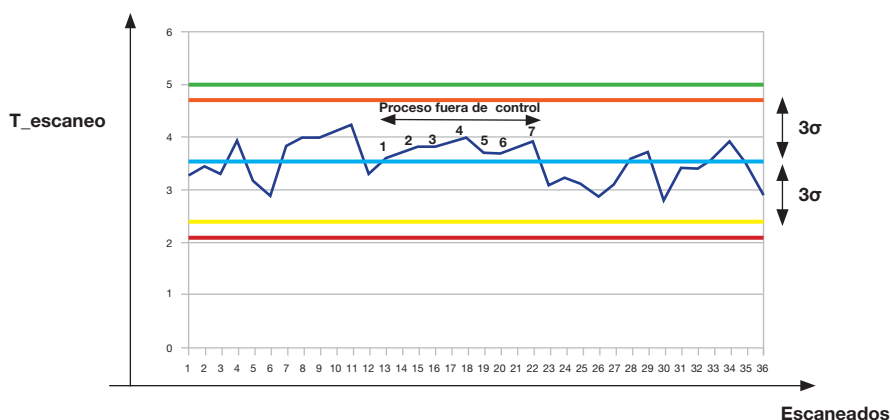
a) Diagramas de control

Existen múltiples herramientas a la hora de controlar la calidad. Dado que habitualmente se va a trabajar con valores numéricos, es sencillo recurrir a herramientas gráficas

que muestran claramente cuándo un parámetro está bajo control o cuándo está fuera de los límites admisibles. En ese sentido, la primera de las herramientas que vamos a ver es la de diagramas de control.

Este tipo de diagramas representa la evolución temporal de una o varias variables. En el mismo se representan, asimismo, los límites admisibles y los límites de control. En el caso de que la variable representada deba tomar un valor constante en el tiempo (por ejemplo, la longitud de un tornillo) es normal tomar como límites de control los valores $\pm 3\sigma$, donde (σ) es la desviación típica de la medida; y como límites admisibles se toman los valores fijados en la especificación del producto.

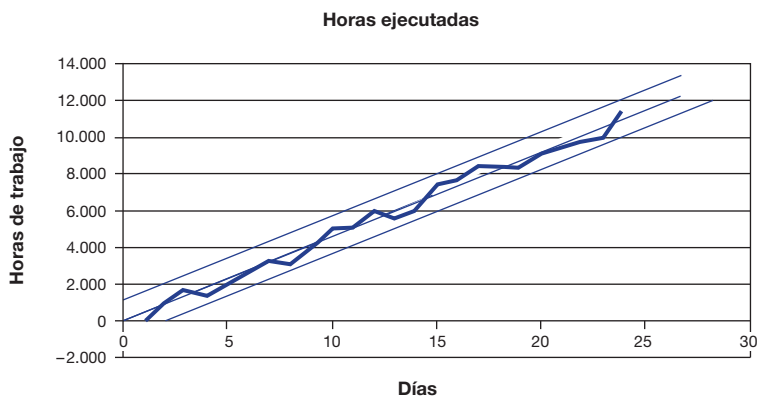
■ Figura 6. Diagrama de control



En la figura 6 tenemos un ejemplo de diagrama de control aplicado al tiempo de escaneado de documentos en el proyecto eClientes que hemos utilizado a lo largo del manual. En este tipo de diagramas, se considera que el parámetro está fuera de control cuando supera los límites de $\pm 3\sigma$, o bien cuando siete puntos consecutivos están por encima de la media del parámetro (línea situada en $T_{\text{escaneado}} = 3,5$).

En otros casos el parámetro o valor controlado evoluciona en el tiempo, con lo que no son aplicables límites fijos. Por ello, en vez de emplear la desviación típica del parámetro para obtener el límite, se recurre a un porcentaje de variación sobre el valor esperado del parámetro. Por ejemplo, supongamos que se está comprobando el número de horas de trabajo consumidas en un proyecto, esta variable evoluciona en el tiempo tomando cada vez un valor mayor. Evidentemente, el número de horas está planificado de antemano, se admitirán desviaciones de $\pm 5\%$. Desviaciones superiores pueden implicar un exceso de consumo de recursos y desviaciones inferiores pueden estar indicando retrasos en el proyecto. Por ello interesa medir el cómputo de horas dedicadas con un margen de tolerancia $\pm 5\%$, como se refleja en la figura 7.

■ Figura 7. Diagrama de control con variable temporal



b) Análisis de datos: Diagrama de Ishikawa

Hay ocasiones en que los datos disponibles son de carácter cualitativo o presentan una desestructuración que no hace posible la construcción de un modelo estadístico o matemático. En dichas ocasiones es preciso recurrir a técnicas que permiten obtener conclusiones menos precisas pero igualmente valiosas. Una de estas técnicas es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama causa-efecto.

El Diagrama de Ishikawa se emplea para aquellos casos en que se dispone de información que influye o afecta a determinados aspectos de un producto o proyecto. En el ámbito de la calidad estos diagramas se emplean para detectar el origen de los fallos y conseguir agrupar estos por clases.

El Diagrama de Ishikawa también es conocido como diagrama de espina de pez, por la forma que presenta. En cada una de las espinas se agrupan las causas con alguna característica común; y lo mismo se hace con las subespinas y así sucesivamente. Al final, todas las causas terminan en una consecuencia común, que es el problema originado.

EJEMPLO 2

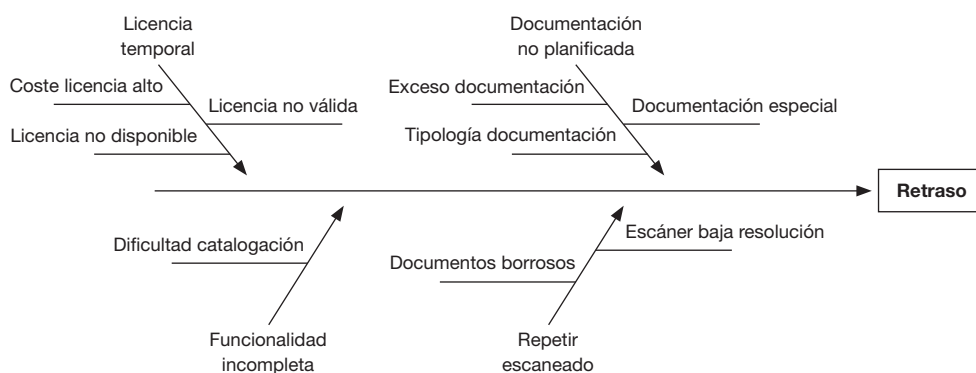
En el proyecto de digitalización del despacho de abogados, tras cuatro meses de proyecto, se constata que el *software* instalado aún no está operativo plenamente y que se está trabajando con una licencia temporal. El personal administrativo no ha terminado de catalogar los documentos, por lo que aún no se ha podido establecer la estructura de categorías en el gestor documental. Insisten en que deben visualizar el gestor para hacerse una idea de las categorías que pueden dar de alta.

Por otra parte, el volumen de documentos a digitalizar ha superado con creces las previsiones y la tipología de documento físico aparecido no concuerda con lo previsto (documentos plásticos, documentos arrugados, documentos ilegibles, documentos borrosos ...) en un 50% de los casos.

Aparte de esto, los escáneres que se comprometió a comprar el despacho han sido en realidad de inferior calidad a lo requerido, pues no alcanzan la resolución necesaria.

Para representar esta información, se procede a la construcción de un Diagrama causa-efecto o de Ishikawa.

■ Figura 8. Diagrama de Ishikawa















En un modelo matemático convencional, en cada ecuación es posible ver la influencia que cada parámetro tiene en la variable dependiente u observada. Por ejemplo, en la expresión $a = F/m$ convenimos en que cuanto mayor es la fuerza (F) aplicada a la masa (m), mayor es la aceleración a que esta experimenta. De un modo parecido en un Diagrama de Ishikawa se podrían concluir que, por ejemplo, cuanto más borrosos sean los documentos, mayor retraso habrá en el proyecto. No sabemos el grado de influencia de la difuminación de los documentos en el retraso final, pero se sabe que existe una relación directa.

c) Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo son otra herramienta empleada en el control de la calidad y son útiles para representar el flujo de datos e información entre procesos. No supone estrictamente una herramienta de medición, pero sí es útil para conocer el flujo de información y poder determinar en qué parte del proceso se está cometiendo un error o se está generando un fallo en el producto final.

La utilidad real de estos diagramas es la de representar procesos y relaciones entre procesos, lo cual genera un mapa completo de los tratamientos a que se somete a la información o a un material antes de obtener el producto final.

■ Figura 9. Elementos de un flujograma

	Informe o terminación del flujo del proceso		Representa una actividad
	Indica un punto de bifurcación ante una decisión SÍ-NO		Representa una actividad supervisada
	Documento múltiple (por ejemplo, un expediente)		Documento simple
	Acción de archivar o almacenar manualmente		Representa una base o almacén de datos
	Acceso secuencial a datos		Intercalar ítems de entrada
	Indica el sentido de flujo del proceso		Acción de desarchivar o eliminar de una base o almacén de datos

Para realizar un flujograma o diagrama de flujo se emplea una notación estándar, incluida en la figura 9.

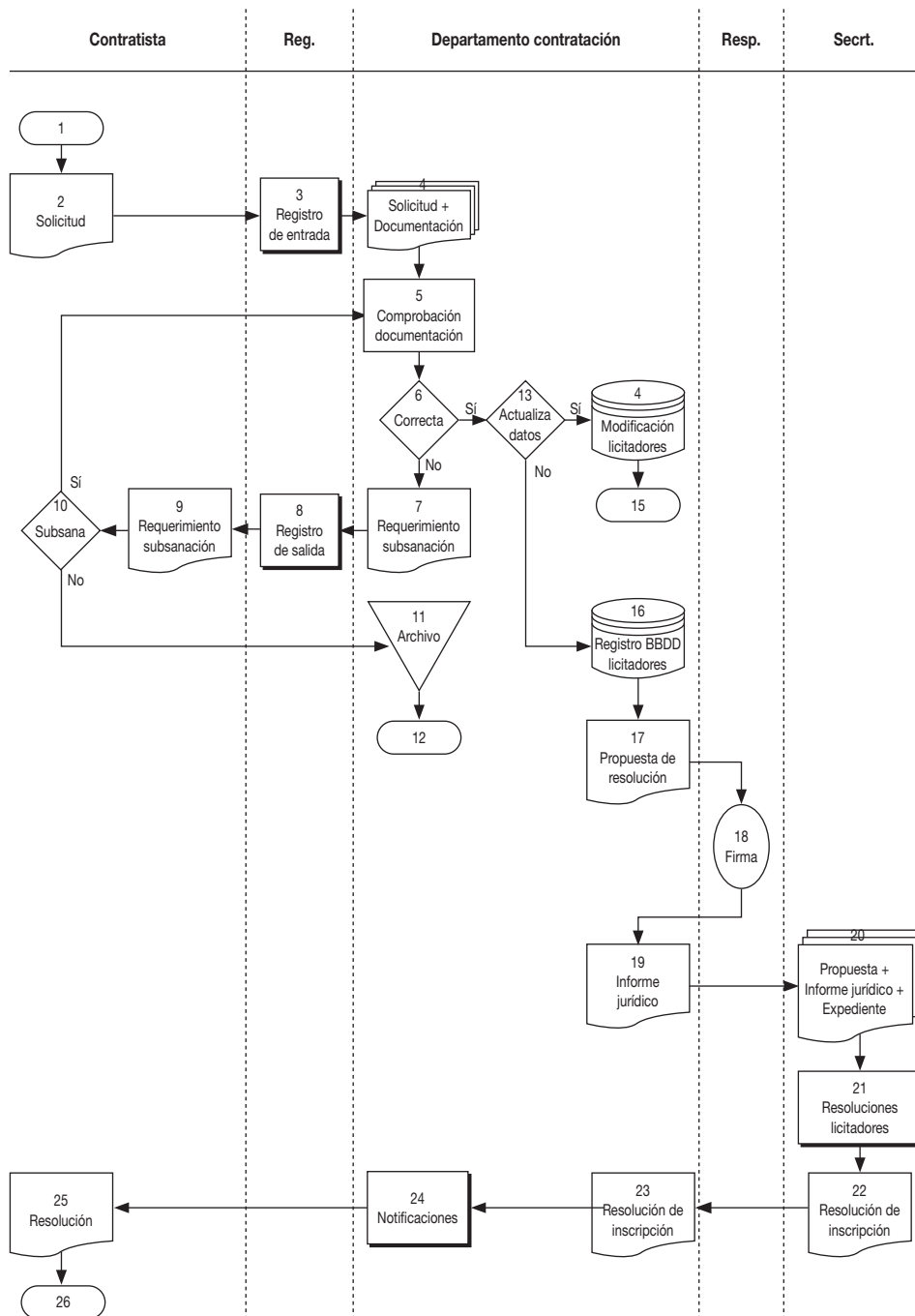
EJEMPLO 3

Tras el éxito del proyecto eClients, el ayuntamiento de La Panera ha recibido el encargo de desarrollar un proyecto denominado eGobierno junto con el socio tecnológico que desarrolló eClients. El proyecto eGobierno pretende facilitar las transacciones electrónicas en todas las relaciones con proveedores y ciudadanos. Dentro del plan de gestión de calidad de dicho proyecto se tiene definido un nuevo proceso para la inscripción en el registro de licitadores del ayuntamiento.

Según dicho proceso, el contratista debe completar una solicitud descargada desde la web. Dicho documento completado lo debe presentar en el ayuntamiento, en concreto en el registro de entrada, iniciando así el subproceso de registro que se enviará a la unidad de contratación junto con la documentación adicional necesaria (licencias, permisos de actividad, certificado de estar al día del pago de impuestos, etc.).

Un técnico del ayuntamiento comprobará dicha documentación y decidirá si es correcta o si elaborar un requerimiento de subsanación, el cual se hace pasar por registro para estampar el sello de registro de salida –iniciando así el subproceso de subsanación– y se envía al contratista para que lo subsane. El contratista puede optar por desistir, en cuyo caso la unidad de contratación archiva el expediente y finaliza el proceso, o bien puede subsanar según indica el requerimiento, en cuyo caso deberá volver a presentar la documentación para su comprobación.

■ Figura 10. Flujograma proyecto eClients



En el caso de que la documentación (en primera o sucesivas instancias) haya sido correcta, el técnico procede a actualizar los datos en la base de datos de licitadores y dar por terminado el proceso, o bien –si procede– a la inscripción del registro, dando de alta el nuevo licitador y elaborando –a continuación– una propuesta de resolución sobre el licitador. Dicha propuesta se envía al responsable del área para que la supervise y firme, en cuyo caso el técnico de la unidad de contratación elabora un informe jurídico sobre el caso.

Posteriormente, el informe jurídico elaborado por el técnico de la unidad de contratación, junto con la propuesta de resolución firmada y el expediente (solicitud e información adicional) del contratista se envían a la secretaría del ayuntamiento para dar comienzo al subproceso de resolución de la inscripción, el cual se inicia con la elaboración de un informe de resolución que se envía a la unidad de contratación, la cual da inicio al subproceso de notificación, reenviando la resolución de la secretaría al contratista, dando con ello por finalizado el proceso.

Con el fin de facilitar la gestión de la calidad, el equipo de proyecto ha decidido reflejar en un diagrama de flujo el proceso de registro de licitadores en el Ayuntamiento de La Panera.

Para representar los distintos pasos de la contratación, recurrimos a un flujograma, que se incluye en la figura 10.

d) *Diagrama de Pareto*

El Diagrama de Pareto es muy utilizado en diferentes disciplinas y con distintas finalidades. En el caso de la gestión de la calidad, se emplea para determinar cuál o cuáles son los factores causantes de la mayor parte de los problemas y errores en un producto, servicio o proyecto. Más concretamente, el Principio de Pareto indica que el 20% de las factores es el causante de aproximadamente el 80% de los problemas o incidencias. O dicho de otro modo, si conseguimos identificar y eliminar el 20% de los factores más relevantes, habremos reducido los errores en hasta un 80%.

Para elaborar el Diagrama de Pareto se ha de partir de un histograma que representa el número de veces que aparece cada defecto. Este histograma se ordena de modo que figure en primer lugar el defecto más repetido y en último lugar el defecto más infrecuente.

A continuación calculamos el porcentaje de aparición de cada defecto respecto al total y por último evaluamos el porcentaje acumulativo, es decir, la suma de los porcentajes desde el primer factor (el primero es el mayor de todos) hasta el actual. Y por último representamos en una gráfica el porcentaje acumulativo.

Una vez lo tenemos representado, debemos considerar un número de factores tal que el porcentaje acumulativo llegue al 80%, es decir, se debe considerar un número de factores tal que el porcentaje de incidencias acumuladas llegue al 80%.

EJEMPLO 4

Dentro del proyecto eClients se están presentando una serie de defectos, de los que se ha tomado nota:

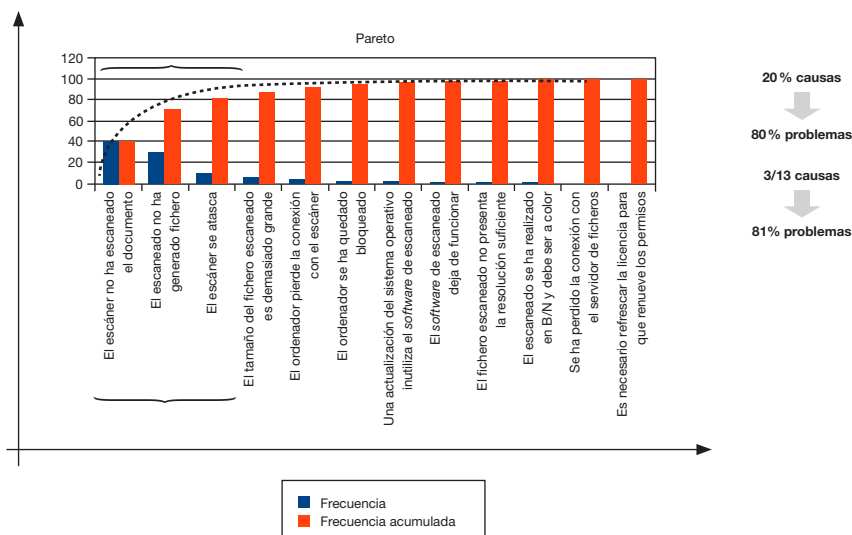
Detalle	Frecuencia	%
El escáner se atasca	9	10,2
El tamaño del fichero escaneado es demasiado grande .	5	5,7
El <i>software</i> de escaneado deja de funcionar	1	1,1
El fichero escaneado no presenta la resolución suficiente	1	1,1
El escaneado se ha realizado en B/N y debe ser a color	1	1,1
El escáner no ha escaneado el documento	36	40,9
El escaneado no ha generado fichero	27	30,7
El ordenador se ha quedado bloqueado	2	2,3
Se ha perdido la conexión con el servidor de ficheros	0	0
Es necesario refrescar la licencia para que renueve los permisos	0	0
Una actualización del sistema operativo inutiliza el <i>software</i> de escaneado	2	2,3
El ordenador pierde la conexión con el escáner	4	4,5

A partir de esta tabla y puesto que los problemas ya tienen la frecuencia y el porcentaje que representan sobre el total, ordenamos de mayor a menor frecuencia:

Detalle	Número incidencias	%
El escáner no ha escaneado el documento	36	40,9
El escaneado no ha generado fichero	27	30,7
El escáner se atasca	9	10,2
El tamaño del fichero escaneado es demasiado grande .	5	5,7
El ordenador pierde la conexión con el escáner	4	4,5
El ordenador se ha quedado bloqueado	2	2,3
Una actualización del sistema operativo inutiliza el <i>software</i> de escaneado	2	2,3
El <i>software</i> de escaneado deja de funcionar	1	1,1
El fichero escaneado no presenta la resolución suficiente	1	1,1
El escaneado se ha realizado en B/N y debe ser a color	1	1,1
Se ha perdido la conexión con el servidor de ficheros	0	0
Es necesario refrescar la licencia para que renueve los permisos	0	0

A continuación representamos el porcentaje y el porcentaje acumulado:

■ Figura 11. Diagrama de Pareto



Del diagrama se desprende que más del 80% de las incidencias provienen de tres problemas, es decir, que tres de trece problemas –aproximadamente el 20%– causa más del 80 % de las incidencias. Por tanto, deberíamos focalizar los esfuerzos en resolver estos tres problemas y ahorraríamos el coste asociado al 80% de las incidencias.

e) Diagramas de dispersión

Los diagramas de dispersión se emplean cuando se pretende analizar si existe una relación lineal, cuadrática, cúbica, exponencial, etc. entre dos variables. Para ello se representa el valor de una variable frente a la otra. En algunas ocasiones es posible visualmente extraer conclusiones sobre la relación que hay entre las variables. En otras, es necesario recurrir a técnicas estadísticas que permitan corroborar la existencia de dicha relación o, por el contrario, permitan asegurar la independencia de las variables.

EJEMPLO 5

El despacho de abogados ha encargado un estudio sobre el proceso de escaneado para comprobar cómo afecta el tamaño del documento al tiempo de procesamiento del escaneado.

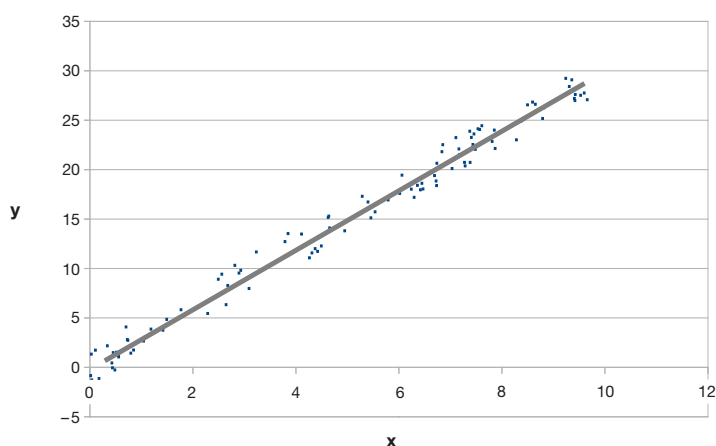
Obtiene los datos de la tabla siguiente.

Analizar si existe relación entre ambos parámetros.

	Tamaño	Tiempo de procesamiento		Tamaño	Tiempo procesamiento		Tamaño	Tiempo de procesamiento
1	0,56	1,06	35	3,09	7,98	69	6,74	20,65
2	5,46	15,13	36	6,36	18,42	70	9,42	26,99
3	8,65	26,62	37	9,53	27,52	71	7,03	20,11
4	6,02	17,60	38	4,49	12,28	72	2,49	8,92
5	3,23	11,68	39	7,85	24,00	73	0,03	1,33
6	3,79	12,72	40	6,69	19,40	74	8,42	25,06
7	6,45	18,62	41	1,19	3,87	75	4,64	15,30
8	7,87	22,14	42	7,48	22,06	76	0,04	-1,27
9	9,31	28,41	43	6,72	18,85	77	9,42	27,60
10	7,44	22,54	44	0,70	4,09	78	1,49	4,86
11	8,80	26,24	45	0,49	-0,26	79	7,53	24,13
12	7,57	24,06	46	6,24	18,03	80	7,38	23,89
13	7,46	23,61	47	4,31	11,58	81	6,47	18,05
14	8,79	25,18	48	5,40	16,73	82	8,28	23,02
15	6,85	22,52	49	9,24	29,24	83	7,41	23,26
16	8,59	26,84	50	7,16	22,10	84	0,56	1,56
17	9,36	29,09	51	0,18	-1,13	85	8,50	26,56
18	3,85	13,53	52	9,41	27,20	86	2,81	10,32
19	0,43	0,44	53	0,56	1,20	87	2,93	9,82
20	4,62	15,17	54	9,66	27,07	88	4,95	13,81
21	0,85	1,75	55	4,26	11,08	89	6,06	19,44
22	1,42	3,76	56	7,29	20,38	90	7,11	23,24
23	5,29	17,31	57	0,52	1,52	91	2,29	5,45
24	4,11	13,49	58	2,68	8,28	92	1,77	5,83
25	7,81	22,86	59	9,60	27,75	93	6,73	18,39
26	0,73	2,81	60	7,38	20,74	94	4,37	12,01
27	5,79	16,93	61	0,45	1,48	95	0,74	2,74
28	2,56	9,43	62	0,11	1,74	96	5,54	15,73
29	8,37	24,89	63	6,83	21,82	97	2,64	6,34
30	6,29	17,20	64	7,61	24,44	98	7,27	20,74
31	4,42	11,73	65	4,65	14,10	99	2,89	9,54
32	0,79	1,44	66	7,17	21,51	100	0,34	2,18
33	0,44	-0,04	67	0,02	-0,84			
34	1,04	2,66	68	6,42	17,96			

Para ver si existe alguna relación entre el tamaño y el tiempo de escaneado, representamos en un eje horizontal la variable «tamaño» y en el eje vertical la variable «tiempo de escaneado». Se obtiene la siguiente figura:

■ Figura 12. Diagrama de dispersión



En este diagrama se observa que existe una relación lineal bastante clara entre la variable «tamaño» y la variable «tiempo». En cualquier hoja de cálculo o *software* de estadística, se puede obtener la ecuación de la recta que aproxima los valores:

$$t_{\text{escaneado}} = 2,98 \text{ tam} + 0,01$$

2.5. Conclusión o cierre de actividades abandonadas o pospuestas (GQP5)

A) Descripción de la actividad

En el caso de que se observe que las actividades de calidad planificadas no son realmente necesarias, suele suceder que estas se abandonan a mitad de proyecto. Es por ello recomendable ejecutar esta actividad que formaliza el cierre de las mismas. Las entradas que se deben considerar son las actividades que se adaptaron o adoptaron y que finalmente no se ejecutaron. Y como salida tendremos la formalización del cierre de las mismas.

B) Técnicas. Herramientas

Dado que se trata de un cierre administrativo desde el punto de vista de la gestión del proyecto, no requiere técnicas o herramientas específicas.

Conceptos básicos

En este capítulo hemos estudiado cómo gestionar la calidad en los proyectos. Se ha visto cómo la obtención de un producto o servicio de calidad no es fruto de la casualidad, sino que obedece a que los procesos a los que se recurre se realizan con niveles de calidad adecuados. Por tanto, se debe entender la calidad desde la óptica del producto final y desde la óptica del proceso que lo genera.

En ese sentido es preciso planificar las actividades de calidad, que es lo primero a realizar en cuanto a gestión de la calidad. Esa planificación incluye actividades para controlar la calidad final del producto o servicio y actividades para auditar que los procesos de gestión del proyecto o procedimientos se realizan con los niveles de calidad y estándares acordados.

Para ello se han visto técnicas y herramientas que permiten auditar los procesos y actividades. Además, se han visto herramientas para controlar la calidad de parámetros concretos del producto o servicio que se está desarrollando.

En resumen, las actividades de que consta la gestión de la calidad de un proyecto son:

- Identificación de las actividades del área de gestión de calidad en el proyecto que se adoptarán/adaptarán en el proyecto (GQP1).
- Realizar un plan de calidad de proceso y producto (GQP2).
- Auditar la ejecución del plan de calidad (GQP3).
- Monitorizar la calidad del proceso y producto (GQP4).
- Conclusión o cierre de actividades abandonadas o pospuestas (GQP5).

En cuanto a la planificación de la ejecución del plan de calidad, se han propuesto algunas técnicas como COQ, SIPOC y *walkthroughs* y revisiones. Para auditar la ejecución, se ha visto un modelo de plantilla que permite obtener conclusiones sobre si se ha alcanzado un nivel de calidad suficiente en las actividades auditadas y, en cuanto a control de la actividad, se han propuesto herramientas como Pareto, análisis de dispersión, diagramas de flujo, de control y de Ishikawa, entre otras.

Como conclusión debemos deducir que tan importante es planificar cómo se implementará la calidad y medirán los resultados como controlar la calidad del producto y auditar que se están ejecutando correctamente los procesos de gestión del proyecto para dotar de calidad al producto final.

Ejercicios voluntarios

1. Preparar un boceto de plan de calidad para los procesos de gestión de costes, tiempo y alcance para el proyecto de eClients comentado en el capítulo.

2. Para un proceso de lijado de piezas se sabe que el tiempo de procesamiento está ligado al tamaño de la pieza. Se dispone de la siguiente lista de tiempos. Identificar qué grado de polinomio (1, 2 o 3) es el que mejor se ajusta y la ecuación $T = f(t)$.

Tamaño	Tiempo de procesamiento	Tamaño	Tiempo de procesamiento	Tamaño	Tiempo de procesamiento
0,56	-2,13	3,09	22,20	6,74	138,34
5,46	83,09	6,36	118,00	9,42	259,78
8,65	227,74	9,53	267,05	7,03	143,43
6,02	106,35	4,49	54,59	2,49	25,83
3,23	41,23	7,85	187,18	0,03	6,26
3,79	49,82	6,69	130,95	8,42	211,52
6,45	121,07	1,19	5,77	4,64	71,47
7,87	178,40	7,48	166,08	0,04	-6,91
9,31	262,32	6,72	128,98	9,42	263,09
7,44	167,07	0,70	11,40	1,49	8,59
8,80	231,64	0,49	-7,89	7,53	177,93
7,57	178,66	6,24	113,36	7,38	172,02
7,46	173,02	4,31	48,99	6,47	118,73
8,79	225,85	5,40	90,12	8,28	196,59
6,85	150,68	9,24	263,67	7,41	169,77
8,59	226,86	7,16	157,01	0,56	0,31
9,36	267,74	0,18	-8,20	8,50	221,92
3,85	54,35	9,41	260,35	2,81	33,16
0,43	-3,63	0,56	-1,45	2,93	30,91
4,62	70,66	9,66	270,26	4,95	68,29
0,85	-1,80	4,26	45,98	6,06	116,47
1,42	3,55	7,29	151,87	7,1	161,10
5,29	91,09	0,52	0,67	2,29	8,64
4,11	56,44	2,68	22,74	1,77	11,98
7,81	180,15	9,60	271,14	6,73	126,91
0,73	4,75	7,38	156,45	4,37	51,80
5,79	98,40	0,45	1,26	0,74	4,25
2,56	28,40	0,11	7,15	5,54	87,58
8,37	208,90	6,83	146,71	2,64	13,00
6,29	110,46	7,61	181,79	7,27	153,28
4,42	50,99	4,65	65,66	2,89	29,41
0,79	-2,83	7,17	154,34	0,34	6,17
0,44	-6,22	0,02	-4,42		
1,04	0,93	6,42	117,10		

3. Durante un proyecto se ha estado tomando nota de incidencias en la recepción de los reportes de costes y de las causas. La siguiente tabla muestra un resumen de la situación:

Incidencia	Número de apariciones
El servidor de reportes no funcionaba	3
Los datos no habían sido aún introducidos	4
El equipo de oficina técnica había olvidado sacar los datos	3
Los datos mostraban incoherencias	4
Los informes enviados no eran los esperados	9
Los informes contenían errores en los datos	7
Se habían alterado manualmente los informes	8

Elaborar un Diagrama de Pareto para averiguar las incidencias que causan la mayor parte de los problemas de reportes de costes.

4. Para el caso del ejercicio 3, elaborar un Diagrama de Ishikawa.
5. Para el caso del ejercicio 2, proponer un diagrama de control con los límites de control en $\pm 3\%$ respecto a la curva teórica. ¿Se puede decir que el proceso está controlado?